

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Розробка інтелектуальної системи керування на базі
відновлювальних джерел для навчальної лабораторії**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-41
спеціальності 141

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

	<u>Бартошевський Р. В.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Оробчук Б. Я.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Мовчан Л. Т.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Тарасенко М. Г.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u></u> (підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 18 » травня 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Бартошевському Роману Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка інтелектуальної системи керування на базі відновлювальних джерел для навчальної лабораторії

Керівник роботи Оробчук Богдан Ярославович, к.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 16 » травня 2023 року № 4/7-557

2. Термін подання студентом завершеної роботи червень 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Існуюча схема електропостачання меблевого підприємства, параметри споживачів електричної енергії, технічні характеристики наявного обладнання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Актуальність теми, об'єкт дослідження, поставлені задачі

2. Структурна схема силової частини інтелектуальної системи керування рулонними жалюзі

3. Схема електрична принципова системи керування рулонними шторами

4. Структурна схема силової частини інтелектуальної системи керування освітленням

5. Схема електрична принципова системи керування освітленням

6. Пульт керування освітленням. Інтерфейс програми керування інтелектуальною системою

7. План розміщення обладнання навчальної лабораторії

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності та основи хорони праці			

7. Дата видачі завдання 18 травня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2023	
2	Аналітичний розділ	28.02.2023	
3	Розрахунковий розділ	31.03.2023	
4	Проектно-конструкторський розділ	30.04.2023	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2023	
6	Висновки	10.06.2023	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2023	
8	Оформлення графічної частини	15.06.2023	

Студент

(підпис)

Бартошевський Р. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Оробчук Б. Я.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бартошевський Роман Володимирович. Розробка інтелектуальної системи керування на базі відновлювальних джерел для навчальної лабораторії.

Стор.– 61; рис. - 22; табл. - 5; плакатів - 6; джерел - 35; додатків - 0.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка інтелектуальної системи керування на базі відновлювальних джерел для навчальної лабораторії систем управління електропостачанням кафедри електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

В першому розділі проведено аналіз інтелектуальних систем керування в електроенергетиці, впровадження їх у виробництво та при розробці системи «розумний будинок».

В другому розділі описано процес розробки експериментального зразка контролера керування з Wi-Fi модулем, макету інтелектуальної системи керування виконавчими механізмами на його основі та синхронізацію її роботи з навчальною системою телемеханіки «Стріла».

В третьому розділі виконано аналіз силового обладнання лабораторних стендів навчальної лабораторії, проведено розрахунок електричних навантажень лабораторних стендів, розрахунок і вибір кабелів для їх підключення та розрахунок та вибір автоматів захисту.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА, СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, WI-FI МОДУЛЬ, SCADA-СИСТЕМА, ТЕЛЕМЕХАНІКА

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Аналіз інтелектуальних систем керування в електроенергетиці	10
1.2 Застосування інтелектуальних систем у виробництві	11
1.3 Процеси автоматизації в електроенергетиці	12
1.4 Система автоматики та контролю роботи вітрових електростанцій	16
1.5 Застосування інтелектуальних систем для розробки «розумного будинку»	19
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	22
2.1 Розробка експериментального зразка контролера керування з Wi-Fi модулем	22
2.2 Розробка макету інтелектуальної системи керування виконавчими механізмами на базі Wi-Fi модуля	26
2.3 Синхронізація роботи інтелектуальної системи керування з навчальною SCADA-системою «Енергія» та системою телемеханіки «Стріла»	32
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	33
3.1 Система інтелектуального управління електропостачанням	33
3.2 Платформи для керування інтелектуальними мережами	34
3.3 Характеристика навчальної лабораторії	36
3.4 Характеристика стенду «Телемеханіка і релейний захист»	41
3.5 Розрахунок номінальних навантажень стендів	42
3.6 Розрахунок електричних навантажень	43
3.7 Розрахунок і вибір кабелів для підключення стендів	46
3.8 Розрахунок та вибір автоматів захисту	48
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	50
4.1 Заходи щодо забезпечення безпеки при проведенні лабораторних робіт	50
4.2 Розрахунок захисного заземлення обладнання лабораторії	51
4.3 Заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	58

ВСТУП

В умовах активного розвитку інформаційних технологій навчальні заклади повинні вирішити важливу задачу – підготувати спеціалістів, які зможуть активно інтегруватися в технологічний процес розвитку суспільства. Це обумовлено попитом інформатизованих і автоматизованих виробництв в фахівцях, які зможуть якісно виконувати поставлені перед ними задачі. Також варто відмітити недостатній рівень підготовки майбутніх фахівців до виробничих умов ще під час навчального процесу [1].

І перед фахівцями в електроенергетичній галузі на перший план виходить питання скорочення електроспоживання, тобто впровадження енергоефективності, що вимагає удосконалення процесу розподілу та використання електричної енергії. Це є основою побудови інтелектуальної системи електропостачання, базовими критеріями якої є інтелектуальна генерація з відновлювальними джерелами, гнучкий розподіл, керування на стороні споживача, інтелектуальні об'єкти і ін. [2]. Системи електропостачання майбутнього, або інтелектуальні мережі, доволі активно досліджуються та впроваджуються провідними технологічними країнами світу (США, Китай, Японія, Південна Корея).

Процес розробки інтелектуальних енергетичних систем полягає в модернізації наявного комплексу генерації та доставки електричної енергії на базі удосконаленого управління, захисту, оптимізації технологічних об'єктів електроенергетичної системи у їх взаємозв'язку.

Розвиток інформаційних технологій та можливостей мережі Інтернет стали передумовою розвитку інтелектуального виду енергетики. Сюди можна віднести появу новітніх досягнень в галузі інформаційних і мережевих технологій, інформаційно-керуючих систем з використанням силової і мікропроцесорної електроніки. Поява ринкових відношень в енергетичному бізнесі обумовила якісно новий рух до ефективності енергоспоживання [3].

Гібридні сонячні електростанції є одним із надійних варіантів сонячних станцій для використання як в побутових умовах так і для забезпечення наочності навчального процесу електроенергетичних спеціальностей. Такі електростанції дозволяють виробляти значну кількість електроенергії, яку можна акумулювати та використовувати її при потребі, не залежать від режимів роботи центральної електромережі та не впливають своєю роботою на навколишнє середовище. Гібридні сонячні електростанції ідеально підходять для автономного освітлення та живлення електрообладнання невеликої потужності, коли можна не використовувати загальну електромережу, а також для освітлення об'єктів комунальної та приватної власності. Варто відмітити, що автономне освітлення не залежить від точки підключення в загальній електромережі, її несправностей та перебоїв електропостачання, володіє високою енергоефективністю [4]. Але має і ряд недоліків: потребує достатнього денного світла для повного заряду акумулятора, необхідність його заміни та правильної утилізації. Недостатній заряд акумулятора знижує інтенсивність світла, відповідно знижується ефективність роботи освітлювальних установок. Також неможливо зарядити акумулятор від іншого джерела і при мінусових температурах можливий збій в їх роботі.

Створення інтелектуальної системи керування полягає у формуванні нової інформаційно-енергетичної структури, основу якої складають силові та інформаційні технології, система ефективних ринків електроенергії та системних і інформаційних послуг [5]. Використання інтелектуальних енерготехнологій забезпечує кращу адаптацію до енергомережі пульсуючого динамічного характеру розосередженої генерації та нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії.

Навігацію та управління такою системою можна здійснювати за допомогою змонтованих в приміщеннях вимірювачів і давачів, контролерів і спеціалізованих виконавчих пристроїв, які працюють в автоматичному режимі. При використанні інтелектуальних систем управління побутовим або

виробничим середовищем можна застосовувати наступні способи управління їх функціями: кнопкові пульти і панелі, сенсорні панелі, смартфон/планшет, персональний комп'ютер, голосове управління, віддалене управління [6]. Але достатньо велика кількість «розумного обладнання» та їх виробників не дозволяє сьогодні виробити спільні вимоги при розробці, виробництві та застосуванні таких пристроїв, а також методів обробки інформації та її обміну з іншими пристроями. Користувачам таких систем потрібно додатково аналізувати вибраний тип обладнання та його виробника, щоб узгодити з вимогами під час підключення фахівцями, які надають окремі послуги, наприклад, диспетчерами розподільчих мереж.

Системи керування відрізняються від систем прогнозування, спостереження, діагностики, конструювання та планування. Інтелектуальні системи керування мають особливу характеристику - їх можна віднести до класу динамічних систем, які працюють в режимі реального часу і мають компоненти взаємодії з зовнішнім світом, такі як датчики та виконавчі пристрої.

Підсумовуючи вище сказане, можна стверджувати, що проблема розробки інтелектуальних систем керування в електроенергетиці є достатньо затребуваною в даний час, а тема кваліфікаційної роботи «Розробка інтелектуальної системи керування на базі відновлювальних джерел для навчальної лабораторії» - актуальною.

Об'єктом дослідження є процеси перетворення енергії на основі застосування альтернативних джерел енергії з інтелектуальною системою керування виконавчими механізмами.

Метою кваліфікаційної роботи є забезпеченням безперебійної роботи виконавчих механізмів на основі інтелектуальної системи керування.

Таким чином, в результаті роботи над темою кваліфікаційної роботи було вирішено наступні завдання:

- розроблено контролер та програмне забезпечення для автоматизованої

системи керування виконавчими механізмами;

- розроблено інтелектуальну систему керування рулонними жалюзі для навчальної лабораторії;

- розроблено інтелектуальну систему керування освітленням для навчальної лабораторії;

- синхронізовано роботу обох контролерів в одну автоматизовану систему керування;

- розроблено та розраховано електротехнічну частину для живлення інтелектуальної системи.

Під час виконання кваліфікаційної роботи було детально вивчено інтелектуальні системи керування (ІСК), та багато різних аналогів автоматизованих систем керування, які використовуються в сферах енергетики та виробництва. При проектуванні та розрахунку застосовувалися пакети прикладних програм, які вивчалися протягом навчального процесу. Також у процесі розробки конструктивного виконання схем електропостачання використовувалося типове устаткування. Усі запозичені з літературних та інших джерел теоретичні і методологічні положення та концепції супроводжуються посиланнями на їх авторів.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз інтелектуальних систем керування в електроенергетиці

Спостерігається активний процес модернізації житлових і побутових приміщень відповідно вимог та потреб технологічного прогресу. Вони оснащуються великою кількістю автоматизованих систем, виконавчих пристроїв і датчиків для створення максимально комфортних умов і спрямовані на енергоощадну та екологічну взаємодію з навколишнім середовищем. Значна частина такого обладнання представляє собою високотехнологічні системи, запрограмовані автономно оцінювати та аналізувати шкідливі фактори зовнішнього середовища, а також діагностувати менші зміни для тимчасового виявлення проблеми [7]. Тут варто зауважити, ці пристрої обробляють інформацію індивідуально, без єдиного центру управління, і часто конфліктують між собою, тим самим зменшуючи корисний ефект своєї роботи та підвищуючи енергоспоживання. Зазвичай, користувач орієнтується перш за все на енергозбереження, екологічність та економічність. Цю проблему можна вирішити за допомогою інтелектуальних систем керування, які дозволять знизити експлуатаційні витрати й підвищити надійність електропостачання. Воно повинно бути безперервним завдяки автоматизованому керуванню перетоками потужності, координації засобів централізованого та розосередженого генерування, цифровому моніторингу роботи електроенергетичної системи [8]. Хоча такі системи в основному побудовані з простих датчиків, камер спостереження, сенсорів, їх ціна є доволі високою і для окупності потрібний тривалий час. Також у випадку поломки системи для її усунення потрібні досвідчені фахівці, яких знайти важко. Крім того, поломка однієї деталі може бути причиною виходу з ладу інших складових системи.

Виконавши аналіз досліджень [9], можна стверджувати, що вплив неякісної електричної енергії на електричні установки є досить помітним. Тому проведення дослідження проблеми впливу джерел відновлювальної генерації

на характеристики якості електроенергії формує підходи до зменшення втрат електричної енергії. Це дозволить збільшити термін роботи електрообладнання, зменшити швидкість старіння ізоляції електричних ліній та зменшити нагрівання трансформаторів внаслідок несиметрії. Підключення сонячних електростанцій до мережі та впровадження інтелектуальних систем дозволить покращити рівень напруги у її вузлах. Такий підхід також дозволить вирішити питання резерву потужності в системі для зменшення її дефіциту у випадку непередбачуваних обставин в автоматичному режимі.

1.2 Застосування інтелектуальних систем у виробництві

Сьогодні інтелектуальні системи керування (ІСК) мають широке застосування в сфері виробництва. Вони дозволяють автоматизувати процеси, забезпечують ефективність, надійність та оптимізацію виробничих процесів. Нижче наведено кілька прикладів застосування ІСК у виробництві [10]:

1. Автоматизоване планування та розкладання виробничих процесів: ІСК можуть аналізувати дані про наявні ресурси, обсяги замовлень, технологічні обмеження та інші фактори для оптимізації планування виробництва. Вони допомагають визначити оптимальні графіки виробництва, розподілити завдання між працівниками та машинами і забезпечити вчасну поставку продукції.

2. Керування запасами і ланкою постачання: ІСК допомагають контролювати рівень запасів і оптимізувати процеси управління ланкою постачання. Вони можуть прогнозувати попит, розраховувати оптимальні обсяги замовлень, визначати оптимальні точки замовлення та автоматично відновлювати запаси. Це дозволяє уникнути перевиробництва або нестачі товарів на складі.

3. Моніторинг та діагностика обладнання: ІСК можуть використовуватись для постійного моніторингу стану обладнання на підприємстві. Вони аналізують сигнали з датчиків, що вимірюють параметри роботи машин, і виявляють відхилення від норми. Це дозволяє здійснювати передбачувану та

профілактичну технічну підтримку, запобігаючи аварійним ситуаціям та збоїв у виробництві.

4. Оптимізація енергоспоживання: ІСК можуть контролювати та оптимізувати споживання енергії на виробничому підприємстві. Вони аналізують дані з систем контролю енергетики, визначають шляхи зниження енерговитрат та забезпечують ефективне використання енергетичних ресурсів.

5. Прогнозування та аналіз даних: ІСК можуть використовувати алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу великих обсягів даних про виробничі процеси. Вони допомагають виявляти складноспостережувані зв'язки, прогнозувати показники виробництва, виявляти аномалії та покращувати якість продукції.

Ці приклади показують, що ІСК мають великий потенціал для покращення ефективності та оптимізації виробництва. Вони допомагають знизити витрати, підвищити якість продукції та забезпечити конкурентоспроможність підприємства.

1.3 Процеси автоматизації в електроенергетиці

На даний час в електроенергетиці застосовується багато видів інтелектуальних систем керування, моніторингу та балансування. Одним із прикладів такої системи є SYNDIS [11]. Це система, яка застосовується для керування, контролю і планування процесів в промисловості, бізнес-завдань і економіки. Дана система - це інструмент, який координує роботу диспетчерських і обслуговуючих служб в енергетиці, та контролює технологічні процеси промислових автоматизованих систем. Система SYNDIS має необхідні механізми для операційного планування і управління ресурсами, та пропонує інструменти для управління коштами і прогнозування потреб. Сервери процесів, інтегровані з системою дають можливість реалізації експертних систем моніторингу трансформаторів, обслуговування реєстраторів заводів, оцінку якості енергії. До сфери застосування системи також належить управління і

торгівля електроенергією, забезпечення управлінням портфелями контрактів і цілковитий контроль та участь на ринку електроенергії.

Застосування SYNDIS охоплює широке коло галузей промисловості та сфери послуг:

- енергетика – передавальні мережі і постачання, системи SCADA/NMS/DMS, Ринок Енергії;
- гірничо-промисловість – управління етапами видобувного процесу, системи зневоднення та осушення шахт;
- металургія – контроль технологічних процесів;
- телекомунікація – контроль випромінювання на території цілої країни;
- теплотехніка – дистанційне управління тепловими вузлами;
- охоронна сигналізація – системи моніторингу.

Система SYNDIS працює в архітектурі клієнт-сервер. Ключова властивість даного системного рішення - це розмежування реального процесу від процесів візуалізації і обробки даних. Сервер отримує інформацію з станційних контролерів і контролерів приєднання, пристроїв захисту, реєстраторів, вимірювальних перетворювачів. Ця інформація нагромаджується в базах даних і стає доступною для користувача за допомогою терміналів, підключених до внутрішньої або Інтернет-мереж. Сервер та інші термінали SYNDIS можуть працювати з різними операційними системами. Спеціалізовані сервери процесів з базою експертних знань, з розширеним статистичним аналізом, а також з функціями архівування, порівняння і аналізу. Графічний інтерфейс користувача служить для візуалізації стану приладів, елементів і динамічно-змінних процесів. За допомогою цього інтерфейсу реалізуються системні операції. Дані можуть бути представлені багатошарово в схематичній системі або можуть відтворювати реальну графічну схему. Дистанційний доступ до системи і реалізація всіх сервісних функцій відбувається за допомогою тер-

міналів, які є тільки в веб-оглядачі WWW. Аплікація доступна в багатьох мовних версіях.

В структуру системи SYNDIS входить багато модулів та підсистем, які характеризуються широким спектром функціонального використання в сфері електроенергетики [12]:

SCADA. Система реалізує контроль, виконує вимірювання і керує обладнанням в реальному часі за допомогою дистанційних або локальних диспетчерських центрів. Реалізує архівування і обслуговування журналів подій. SCADA система SYNDIS співпрацює з контролерами приєднання, концентраторами даних й іншими, довільними приладами телемеханіки. Забезпечує візуалізацію і контроль вторинних обмоток і систем автоматики, захисту, реєстраторів завод на станціях довільного типу. Ці прилади можуть обслуговуватись в різних протоколах напр. PN-EN 60870-5-10x, PN-EN61850, DNP3.0 та інших.

DMS/EMS. Забезпечує функції і механізми діалогу диспетчера з контрольованими і керованими об'єктами, технологічними процесами і пристроями. Аналізує їхні об'єктні дані для того, щоб ідентифікувати і оцінити стан, а також правильне функціонування з'єднувальної та захисної апаратури. Модулі DMS допомагають в організації поточної роботи енергетичних служб, управлінні ресурсами, плануванні ремонтів і аналізу коштів, забезпечують облік реалізованих робіт, протоколів досліджень, оглядів, вимірювань, установок захисту. Функції для ефективного управління поточними перетоками енергії, пропонують модулі EMS. Ці модулі також пов'язують управління мережею з бізнес-функціями системи, такими як: обслуговування виключень, оцінка якості енергії, переказ даних для ринку енергії.

GIS. Оригінальне рішення графічно-об'єктного інтерфейсу користувача, приєднаного до об'єктної бази даних. Забезпечує презентацію карт, планів, схем: як векторних так і растрових.

Сервери процесів. Приклад сервера з експертною базою знань, аналізом і статистичною оцінкою даних, розширеними механізмами архівування і презентації результатів приведено на рис. 1.1.

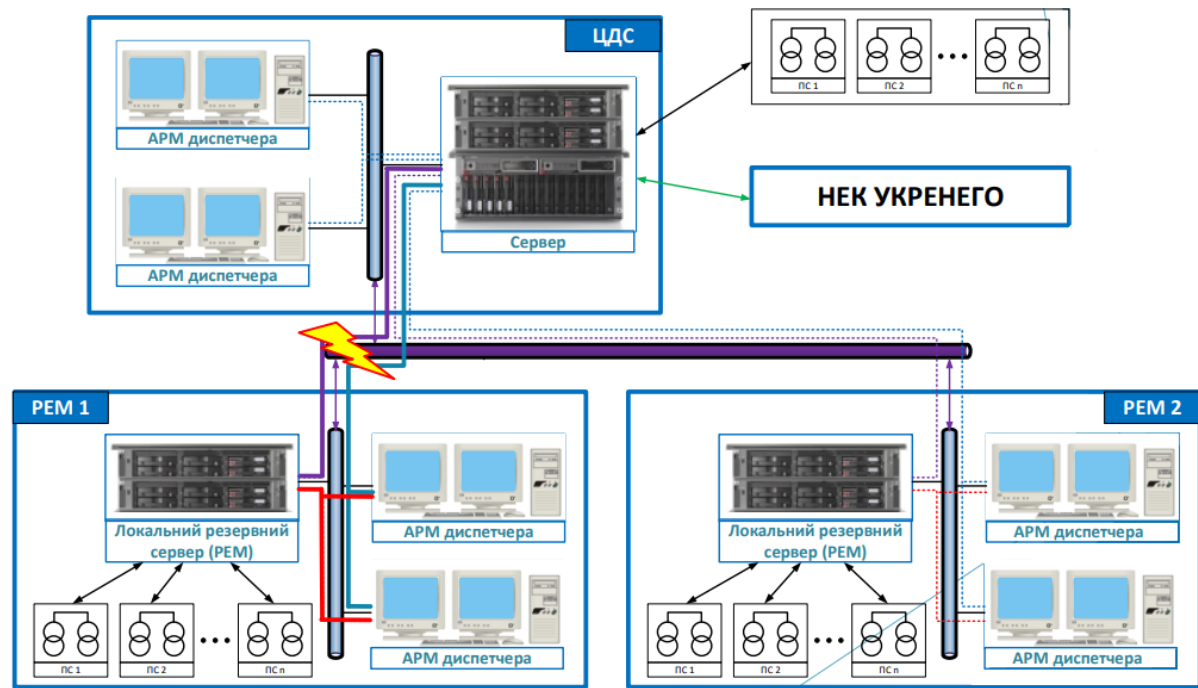


Рисунок 1.1 - Сервер з експертною базою знань

Syndis–Енергія. Система балансування і управління. Syndis-Енергія - це комплексне програмне забезпечення, скероване на накопичення даних, контроль вимірювальних пристроїв, а також аналіз і розрахунок енергетичних ресурсів: електричної і теплової енергії, газу, води й інших носіїв енергії. Система пропонує ефективні інструменти для управління енергією і комерційною діяльністю на ринку енергії. Сучасна архітектура дає можливість застосування можливостей системи відповідно до вимог і специфіки:

- розподільних і торговельних компаній;
- електростанцій і підстанцій;
- підприємств, які постачають енергетичні ресурси: тепло, газ, воду, пару і тп.

Syndis-Енергія успішно впроваджується в промислових підприємствах для управління енергетичними ресурсами. Система в реальному часі контролює

лює і зчитує дані з лічильників енергії, а також різних вимірювальних приладів. Зчитування даних відбувається в безпосередньому режимі з можливістю запису в буфер. Безпосередній режим використовує новітні технології обширних мереж для обслуговування вимірювальних приладів, обладнаних у відповідні комунікаційні цифрові інтерфейси. Запис даних в буфер стосується обслуговування концентраторів, реєстраторів і суматорів енергії, а також деяких типів лічильників. Система володіє відповідним програмним забезпеченням, яке дає можливість додавання наступних пристроїв і напрямків передачі, а також застосування аналітичних модулів до усіляких потреб споживача, співпрацює з програмним забезпеченням, яке обслуговує ринок енергії, з системами SCADA і фінансово-бухгалтерськими системами.

Syndis-Енергія може працювати незалежно, а також може бути елементом комплексної оперативно-інформаційної системи керування SYNDIS, створюючи з нею спільне знаряддя MMS/EMS для моніторингу, керування, балансування і звітування продукції або енергоспоживання енергетичних ресурсів.

1.4 Система автоматики та контролю роботи вітрових електростанцій

Система автоматики для вітрових електростанцій створена на основі серії SO-5 забезпечує збір даних, управління, обмін даних із системами SCADA для контролю вітрових електростанцій [13]. Водночас система має інтерфейси для обміну даними з енергетичними компаніями, на території яких працює електростанція. Збір даних відбувається безпосередньо з: контактів первинних пристроїв, із захисту, аналізаторів якості енергії, вимірювальних перетворювачів, регуляторів напруги, напрямників струму, інверторів, метеостанцій та інших пристроїв різних виробників. Система підтримує зв'язок із пристроями за стандартними протоколами IEC 60870-5-101/-103/-104, IEC 61850, DNP 3.0, ModBus, які можна легко налаштувати. Керування реалізується за допомогою виходів модулів керування контролера або інших при-

строїв, наприклад, захисту. Збір даних з технологічних систем та метеостанцій проводиться за протоколами DNP 3.0, ModBus, OPC-DA. Всі дані, разом з даними про енергію, стан пристроїв, попередження та тривоги, передаються до диспетчерського центру власника вітряної електростанції у стандартизованому протоколі або за інтерфейсом бази даних (рис. 1.2). Обсяг та форма звітних даних залежить від індивідуальних вимог клієнта.

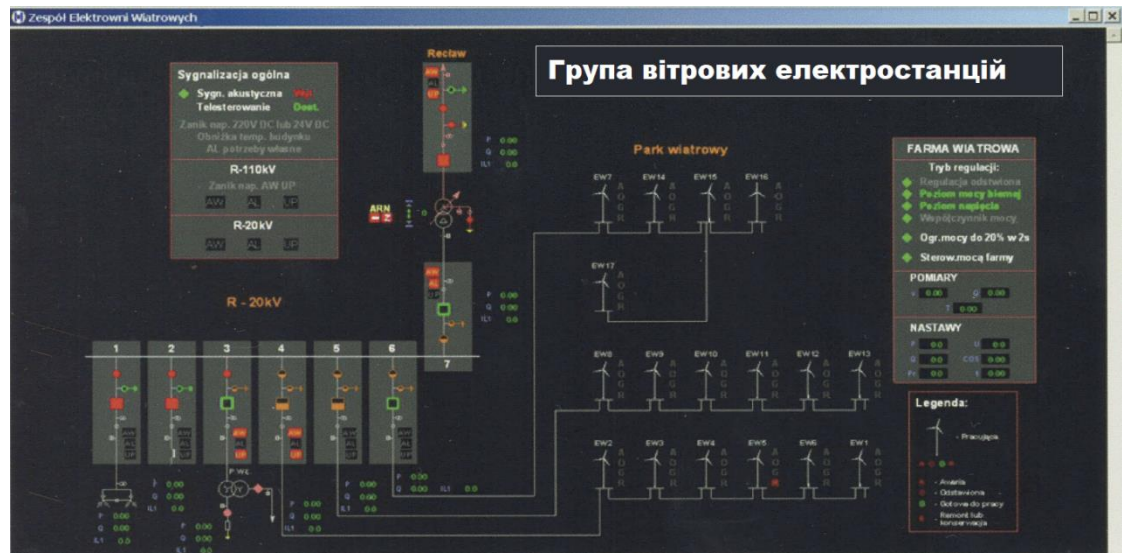


Рисунок 1.2 – Інтерфейс моніторингу стану ВЕС

Крім того, онлайн вимірювання та стани КА можуть передаватися до диспетчерських розподільчих компаній та диспетчерських операторів передачі енергії. Функціональність центральної системи можна розширити відповідно до індивідуальних вимог клієнта, наприклад, додати функції для звітності та балансування.

Контролер віддаленого терміналу реалізований на основі SO-52v21 і призначений для виконання функцій керування та нагляду в комутаційних станціях середньої напруги (MV-S), які керуються за допомогою кабельної мережі або бездротовим способом. RTU SO-52v21 виконує вимірювальні та контрольні функції, необхідні в енергетичній автоматичній, особливо при роботі в спрощеній структурі. Прилад можна використовувати на електростанціях, електростанціях, хімічних заводах, очисних спорудах та ін. Великі кому-

нікаційні ресурси дозволяють працювати в різних мережах зв'язку на основі Ethernet, передачі GPRS/GSM, радіопередачі в виділених і відкритих каналах, модемної передачі в телефонних мережах, які призначені для загального користування або в окремих мережах. Компактність та широкі комунікаційні можливості роблять контролер особливо корисним у додатках SMART GRID. RTU SO-52v21 забезпечує високий рівень безпеки користувачів завдяки вбудованим механізмам «кібербезпеки», які забезпечують захист і конфіденційність даних, надійність операцій, захист від несанкціонованих операцій і протидію людським помилкам. Реалізовано механізми захисту зв'язку, віддаленого та локального доступу та захисту конфіденційних даних. Живлення може забезпечуватися різними напругами в залежності від потреб користувача. Якщо програма потребує підвищеної надійності системи, пристрій може бути забезпечений буферним резервним джерелом живлення. Пристрій встановлено в металевому корпусі (рис.1.3).

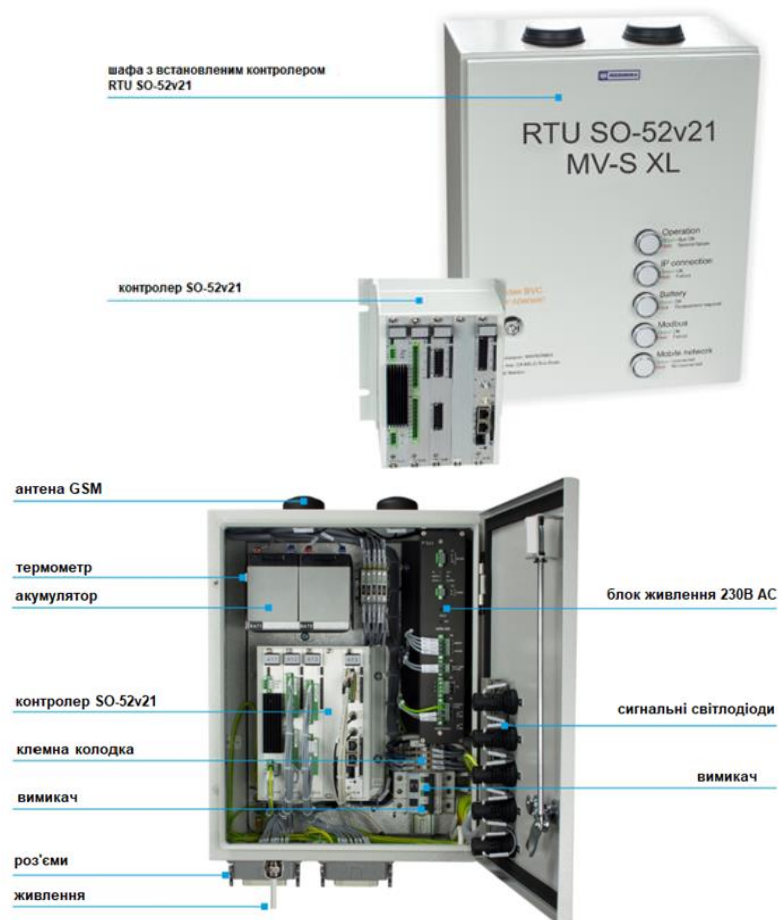


Рисунок 1.3 – Шафа контролера RTU SO-52v21

Захищений зв'язок у пристроях серії SO-52v21 може здійснюватися через різні середовища передачі, такі як Ethernet у стандарті 100Base-TX, 100Base-FX, гальванічно розділені послідовні канали RS-232 і RS-485 або через виділені оптоволоконні канали.

1.5 Застосування інтелектуальних систем для розробки «розумного будинку»

Останнім часом набуває піку популярності тенденція під назвою «розумний будинок» або «інтелектуальна будівля». Основні положення концепції "інтелектуальної будівлі" визначаються наступним чином [14]. Термін "інтелектуальна будівля" використовується для опису будівлі, яка володіє здатністю розпізнавати певні ситуації та реагувати на них. Рівень цієї інтелектуальної здатності може значно варіюватися, включаючи дуже високий рівень. Проте, важливо зазначити, що переклад "інтелектуальна будівля" не є повністю точним для англійського терміну "intelligent building". В контексті "intelligent building" під "інтелектом" розуміється не лише здатність розпізнавати ситуації та реагувати на них, але й комплексний підхід до ефективного управління будівлею, що включає в себе використання інформаційних технологій, автоматизацію систем, оптимізацію ресурсів та інші функціональні можливості. Таким чином, хоча "розумно побудована" може бути дослівним перекладом з англійської, "інтелектуальна будівля" описує більш широкий спектр функцій і можливостей, пов'язаних з використанням інформаційних технологій для покращення ефективності та зручності будівлі.

Створення інтегрованої системи управління будівлею полягає в створенні системи, яка забезпечує комплексну роботу всіх інженерних систем будівлі. Ця система охоплює такі аспекти, як освітлення, опалення, вентиляція, кондиціонування, водопостачання, контроль доступу та багато інших. Інтегрована система управління будівлею дозволяє централізовано контролювати та керувати різними інженерними системами з одного пункту управління. Це сприяє покращенню ефективності експлуатації будівлі, забезпеченню ком-

форту для користувачів та економії енергоресурсів. Завдяки інтегрованим системі, можливе автоматичне регулювання параметрів різних систем на основі зібраних даних та аналізу ситуації. Наприклад, система може виконувати оптимальне керування освітленням та опаленням в залежності від присутності людей у приміщенні або зовнішніх погодних умов. Така система управління будівлею покращує якість життя, сприяє зниженню енергоспоживання та забезпечує більш ефективну експлуатацію будівлі в цілому. За допомогою різних засобів управління, розташованих в самій будівлі, допоміжних спорудах або в її околицях, людина може керувати інтелектуальним будинком або будівлею. Ці засоби управління пов'язані з тим самим комунікаційним середовищем, що й інші компоненти системи, що дозволяє їм взаємодіяти та обмінюватися інформацією.

Система "розумний будинок" складається з трьох рівнів: нижнього, середнього і верхнього, як показано на рис. 1.4. Нижній рівень включає датчики і виконавчі елементи, такі як сервоприводи, датчики вологості і температури, ультразвукові сенсори, реле часу і т. д. Середній рівень системи "розумний будинок" реалізується за допомогою універсального контролера Arduino UNO, до якого підключаються всі датчики і виконавчі елементи. Верхній рівень включає SCADA (для промислових систем) або веб-додаток, за допомогою якого здійснюється управління системою.



Рисунок 1.4 – Ієрархічна структура «розумної будівлі»

На ринку існує багато різноманітних SCADA-систем для розумних будинків, але всі вони реалізовані на промислових контролерах, що зумовлює високу вартість кінцевого продукту. Однак, доступним аналогом є система, реалізована на базі контролера Arduino UNO, вартість якого є прийнятною для середнього класу споживачів.

В результаті виконаного аналізу літературних даних було систематизовано та узагальнено інформацію про переваги і недоліки використання доступних способів технологічного та технічного забезпечення інтелектуальної системи керування виконавчими механізмами в навчальній лабораторії. В якості основи для інтелектуальної системи керування використано розроблену структурну схему автономної гібридної сонячної електростанції (рис.1.5), яка впроваджується в навчальний процес для електрозабезпечення лабораторії диспетчерського управління електропостачанням кафедри електричної інженерії [15]. Система автономного електропостачання на базі гібридної сонячної енергоустановки являє собою комплект сонячних панелей, які приєднані до споживача. Контролер забезпечує розподіл отриманої електричної енергії та автоматизує роботу всієї системи. Надлишок виробленої енергії накопичується в акумуляторах, а перетворення постійного струму в змінний для потреб споживачів здійснюється за допомогою інвертора. До переваг такої автономної системи можна віднести взаємну компенсацію дефіциту електричної генерації, яка має є доволі високу продуктивність сонячних панелей літом та відносно низьку у зимовий період.

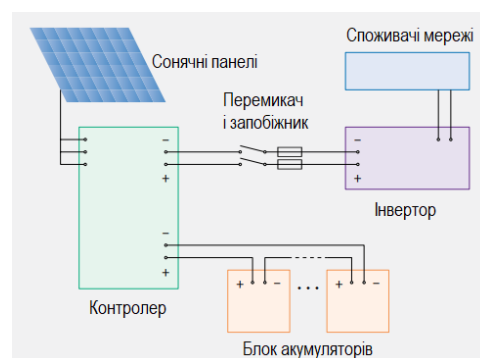


Рисунок 1.5 - Структурна схема автономної сонячної системи з акумуляторним резервом

2ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розробка експериментального зразка контролера керування з Wi-Fi модулем

Для реалізації інтелектуальної системи керування виконавчими механізмами (рулонними шторами та системою освітлення) було розроблено та виготовлено експериментальний зразок Wi-Fi контролера (рис. 2.1, 2.2).

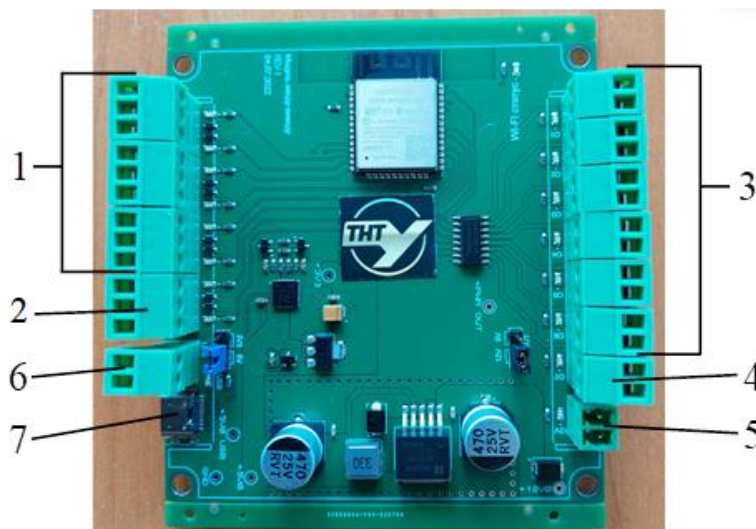


Рисунок 2.1 -Wi-Fi контролер системи керування зашторенням: 1 – до кнопок «Відкрити», «Закрити»; 2 – до кнопки «Стоп»; 3 – вихід на реле керування; 4 – вихід на давач освітлення; 5 – живлення 12В; 6 – послідовний порт RS-485; 7 – USB-порт

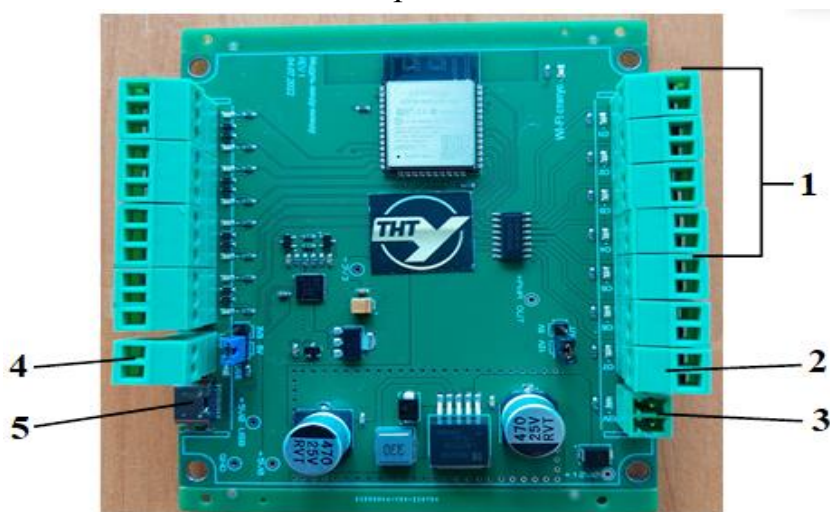


Рисунок 2.2 -Wi-Fi контролер системи керування освітленням: 1 – вихід на реле керування; 2 – вихід на давач освітлення; 3 – живлення 12В; 4 – послідовний порт RS-485; 5 – USB-порт

Контролер побудовано на одній програмній платформі, що дозволяє керувати ним з одного додатку. Має легке і зрозуміле налаштування, сучасну елементну базу та наявність програмного забезпечення для діагностики. В розробленому контролері передбачена можливість оновлення програмного забезпечення, програмної зміни конфігурації, вибору та налаштування фільтрів вхідних сигналів, керування з програм користувача за допомогою стандартизованих протоколів. Контролер має бездротове мережеве підключення, може бути інтегрований в єдину систему, має функцію автоматизованого збору даних, віддаленого керування засобами VPN. В контролері передбачена можливість використання резервного живлення та налаштування програмного забезпечення під вимоги користувача.

Розроблений контролер можна використовувати для керування різними приладами на виробництві та в домашніх умовах. Контролер підтримує безпроводний зв'язок Wi-Fi, що дозволяє здійснювати керування ним з комп'ютера, планшета чи смартфона. Для цього було розроблено спеціалізований додаток «Діагностика» (Windows, Android), вигляд якого показано на рис. 2.3. Програма "Діагностика" написана на мові програмування C/C++ з використанням середовища VisualStudioCommunity та технології WPF (Windows PresentationFoundation). Вона є частиною платформи NET і є її підсистемою побудови графічних інтерфейсів [16].

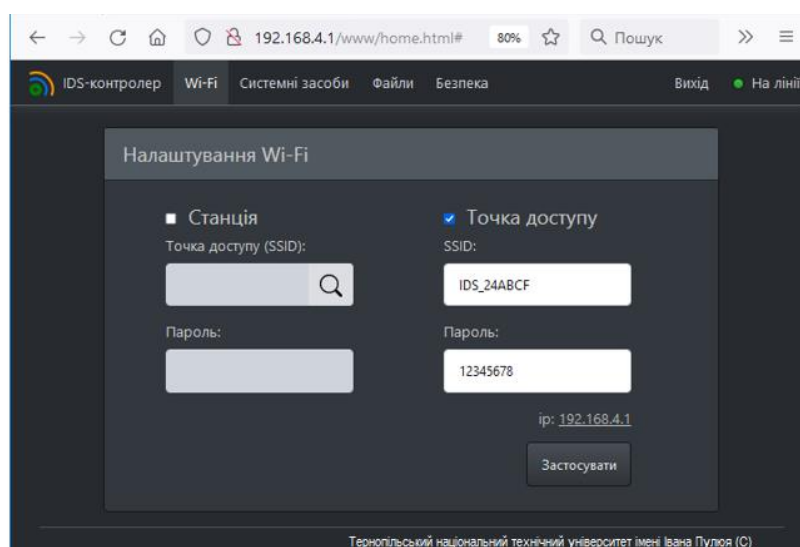


Рисунок 2.3 -Інтерфейс додатку «Діагностика»

На рис. 2.4 приведено вікно розробленого інтерфейсу керування за допомогою смартфона.

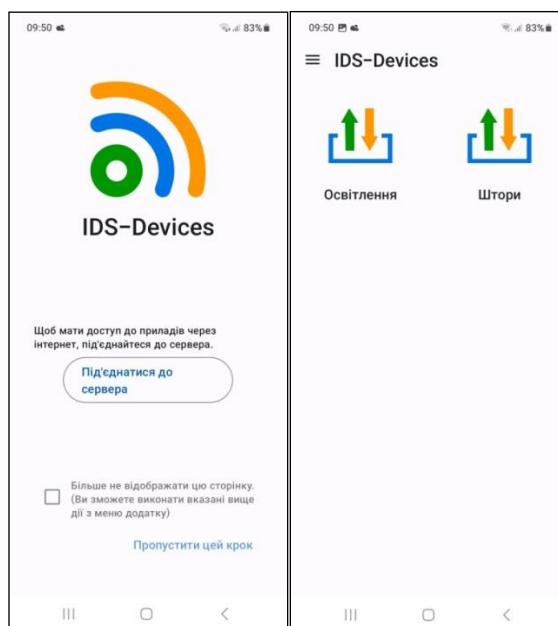


Рисунок 2.4 -Інтерфейс керування за допомогою смартфона

Для налагодження та тестування використовується додаток «Діагностика», який дозволяє здійснювати початкове налагодження та діагностику контролера. Завдяки гнучкій системі налаштування контролер може бути налаштований під різні виробничі задачі. Програмне забезпечення контролера передбачає можливість оновлення, що дозволяє розширити його функціональність в майбутньому. Також контролер має веб-інтерфейс, що дозволяє здійснювати контроль та налагодження з браузерів (без використання спеціалізованих додатків).

Розроблений Wi-Fi контролер можна використовувати в якості функції «розумне зашторення» при під'єднанні датчика освітленості (рис. 2.5), який розміщений в оптимальному місці аудиторії[17].

Впроваджується тестовий варіант синхронізації двох контролерів через мережу Wi-Fi. Таким чином, коли освітленість надто мала, спрацьовує датчик, передає сигнал на один із контролерів, до якого він безпосередньо підключений. В свою чергу контролер аналізує сигнал датчика, зв'язується з іншим контролером

через мережуWi-Fi, в результаті чого керування освітленістю аудиторії відбувається не тільки корегуванням положення штор, а й за допомогою вмикання системи освітлення, яке вмикається ступінчасто. Спочатку вмикаються світильники, які розміщені подалі від вікон, якщо рівень освітлення надто низький, то вмикаються всі інші.



Рисунок 2.5 -*Давач освітленостіXiaomiLightDetectionWi-Fi*

Давач фіксує щоденну зміну освітленості, яку можна переглянути в додатку «Діагностика». Коли давач перебуває в стані низького заряду батареї, то інформація передається на телефон. В основі давача високоточні лазерні елементи, володіє високою чутливістю, широким діапазоном налаштувань, підтримує функцію розумного управління. Давач може точно визначати зміни в інтенсивності навколишнього освітлення та автоматично змінювати інтервал вимірювання для різних умов освітлення. Його інтегровано в роботу розроблених контролерів керування. Як згадувалось вище, якщо рівень освітленості надто великий, тоді спрацьовує давач і штори автоматично прикриваються, створюючи заданий рівень освітленості без стороннього втручання людини. Коли рівень освітленості надто низький, штори відкриваються. Аналогічно із системою освітлення.Єдиним недоліком даного методу керування є те, що у випадку мінливої хмарності сонце то виходить із-за хмар, то заходить, відповідно давач постійно спрацьовує та рухає штори або вгору, або вниз, вмикається і вимикається світло. Для вирішення даної проблеми, в давачі виставляється невелика затримка по часу спрацювання.

Контролер керується системним часом, працює автоматично, здебільшого в світлий час доби, оскільки в темний час доби його робота не є затребуваною - при

вмиканні світла вручну система буде помилково спрацьовувати. Коли підходить заданий час, контролер перемикається в режим лише ручного керування (з девайсу або панелі керування). Водночас сама освітленість лабораторії, як раніше згадувалось, може коригуватися як автоматично за допомогою інтелектуальної системи освітлення (в синхронізації із системою зашторення), так і в автономному режимі.

2. 2. Розробка макету інтелектуальної системи керування виконавчими механізмами на базі Wi-Fi модуля

Для наочного та практичного використання розробленої гібридної міні-електростанції в навчальному процесі, було виконано підключення до неї частини лабораторного обладнання, зокрема систему освітлення лабораторії, систему керування рулонними шорами та моторизований мультимедійний екран. В якості лабораторної установки було розроблено схему та виготовлено експериментальний зразок інтелектуальної системи керування рулонними шторами та освітленням, яка зібрана з доступних та дешевих складових, про те є достойним аналогом подібних брендових систем. Запропонований підхід до розробки таких систем керування дозволяє організувати практичне засвоєння студентами теоретичного матеріалу зі спеціальних дисциплін при виконанні реальних випускних кваліфікаційних робіт [2, 3, 6, 8, 10]. Керування може здійснюється наступним чином:

- за допомогою пульта керування, вимикачів (ручне керування);
- керування при допомозі розробленого Wi-Fi контролера (через смартфон, ноутбук, мережею *Wi-Fi*[18, 19]);
- автоматичне керування за допомогою розробленого Wi-Fi контролера давача освітленості;
- керування за допомогою програмно-апаратного середовища системи телемеханіки «Стріла», яка є складовою частиною обладнання лабораторії диспетчерського управління електропостачанням [20].

На рис. 2.6 приведено структурну схему силової частини інтелектуальної системи керування рулонними шторами для трьох вікон розміром 5,0×2,0 м кожне.

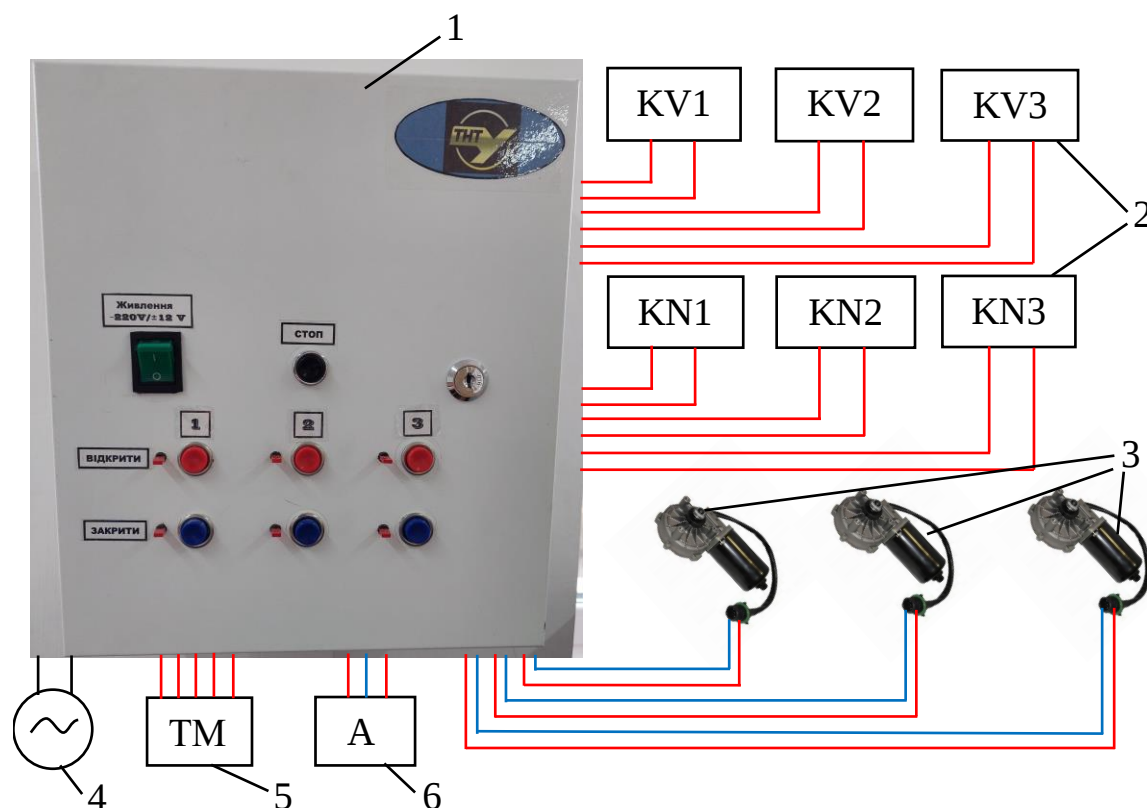


Рисунок 2.6 -Структурна схема силової частини інтелектуальної системи керування зашторенням: 1 – пульт керування; 2 – кінцевики (геркони); 3 – двигуни постійного струму 12В; 4 – джерело живлення 220 В; 5 – до обладнання системи телемеханіки «Стріла»; 6 – до датчика освітленості

На рис. 2.7 показано монтаж розробленої системи керування рулонними шторами в пульті керування. При натисканні кнопки «Відкрити 1» на контролер подається сигнал, спрацьовує реле 1, електродвигн починає піднімати рулонну штору до спрацювання кінцевика, який виконано на базі нормально замкнутого геркона. На нижньому кінці жалюзі закріплено неодимовий магніт, який приводить в дію геркон. Аналогічно працює і кнопка «Закрити».

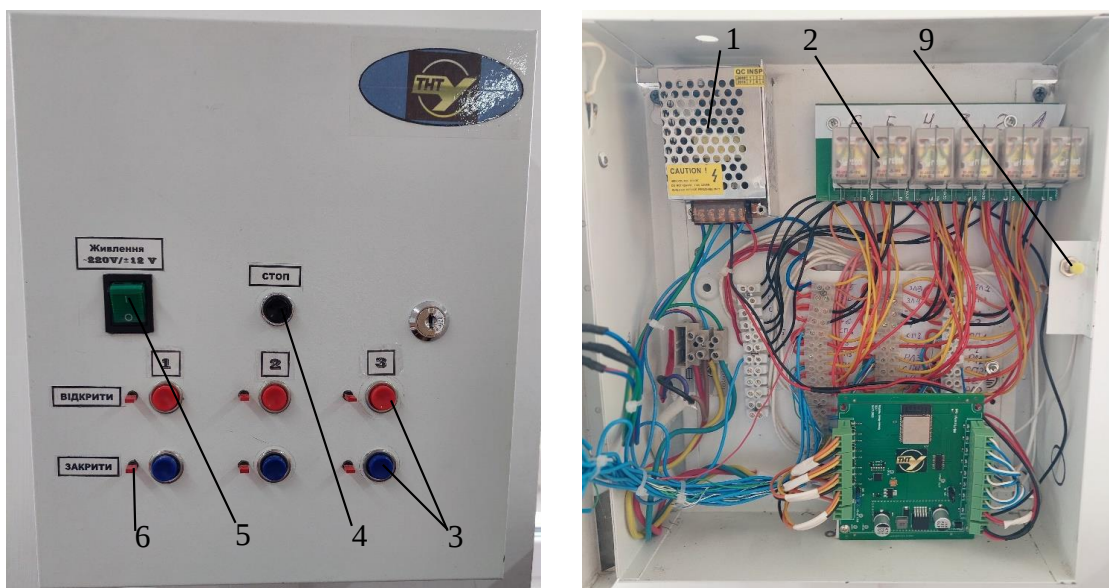


Рисунок 2.7 -Пульт керування зашторенням: 1 – блок живлення 220/12В (5А) постійного струму; 2 – реле керування виконавчими механізмами; 3 – кнопки «Відкрити», «Закрити»; 4 –кнопка «Стоп»; 5 – вимикач живлення 220В; 6 – запобіжник (220В); 7 – Wi-Fi-контролер керування; 8 – світлодіодні індикатори; 9 – кнопка вимкнення живлення 12В при відкриванні шафи керування

Кінцевики (геркони) закріплені у верхній і нижній кінцевих точках вікна. Коли нижній кінець штори проходить повз геркон, живлення на реле переривається і двигун зупиняється. При необхідності можна примусово зупинити рух двигуна кнопкою «Стоп». При натисканні кнопки «Стоп» переривається живлення на всі реле, тобто дана кнопка є універсальною для усіх трьох контурів. У контролері передбачено роз'єм під давач освітленості, за допомогою якого аналізується рівень освітленості в приміщенні та при необхідності автоматично коригується шторами та автоматизованою системою освітлення. Послідовно до живлення контуру 12В під'єднана кнопка вимкнення живлення системи при відкриванні пульта керування. Якщо під час руху штор відкрити щиток, то живлення в контурі 12В пропаде, що пов'язано з дотриманням техніки безпеки під час проведення лабораторних занять. В якості електроприводу для підняття і опускання рулонних штор були використані двигуни постійного струму 12В від приводу склоочисника автомобіля. Принципову електричну схему пульта керування (рис. 2.8) було розроблено та виконано моделювання в програмному пакеті Proteus[21].

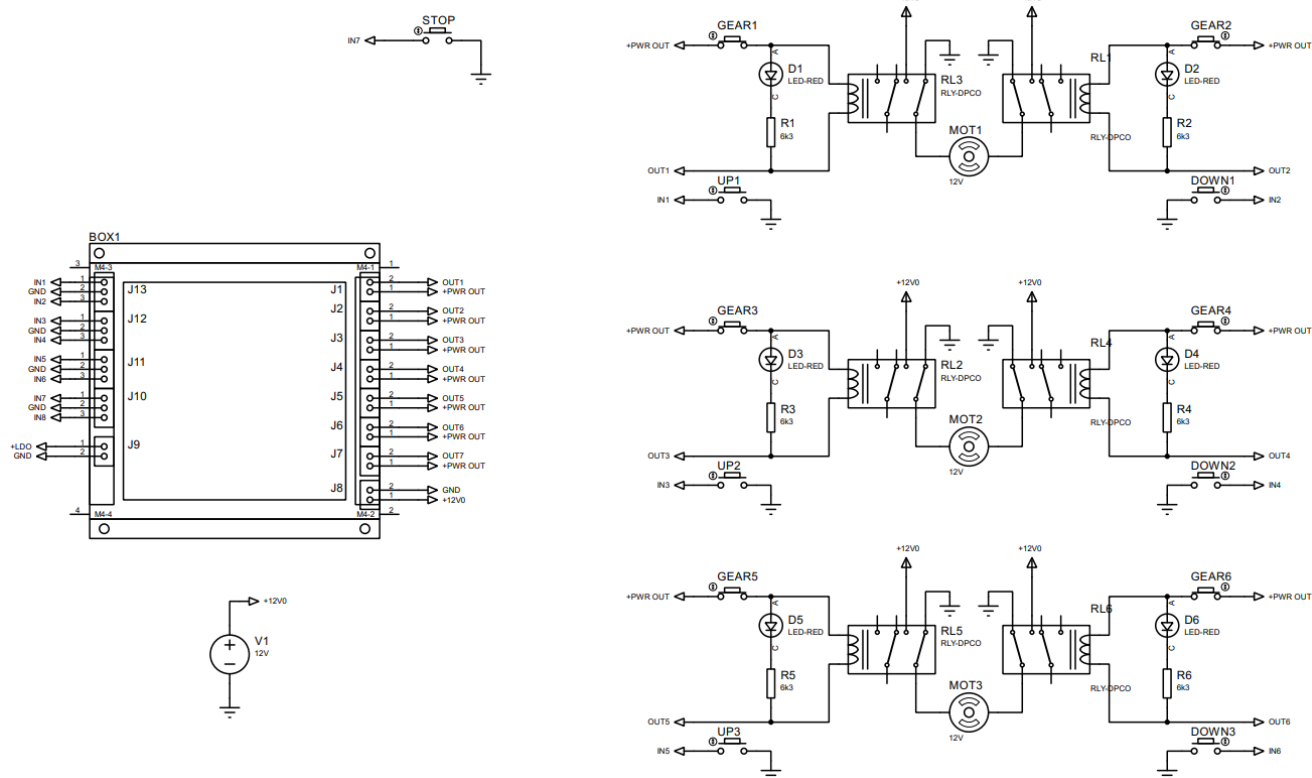


Рисунок 2.8 –Схема електрична принципова системи керування рулонними шторами

На рис. 2.9 приведено структурну схему силовой части интеллектуальной системы керування освітленням для 8світильників потужністю 36 Вт кожен.

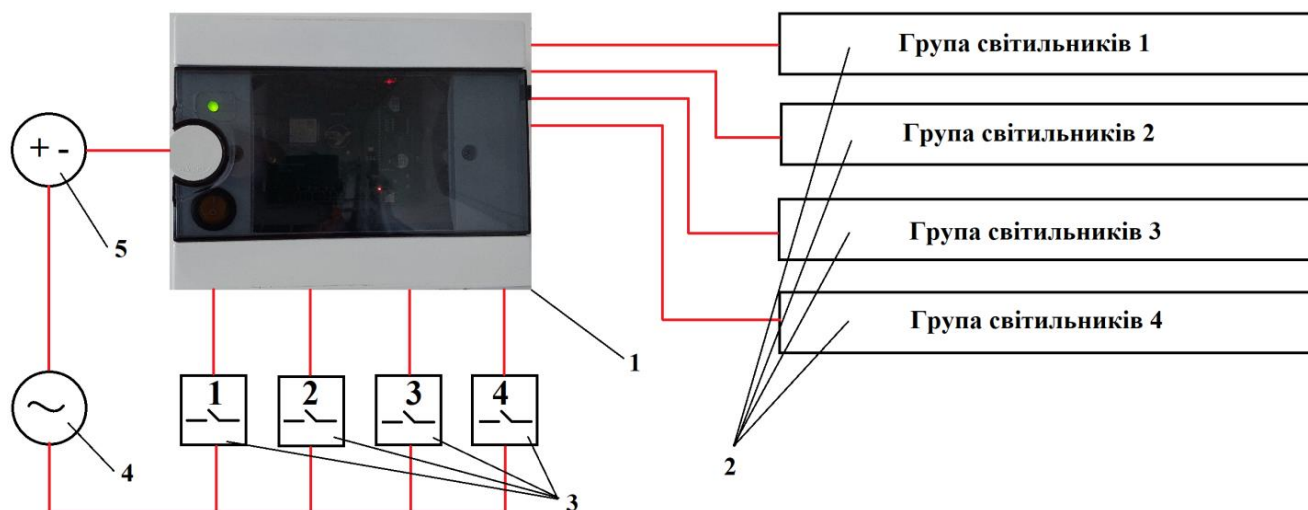


Рисунок 2.9 -Структурна схема силовой части интеллектуальной системы керування освітленням:1 – блок керування; 2 – світлодіодні світильники; 3 – вимикачі 220В;4 – джерело живлення 220В;5 – джерело живлення 12В

На рис. 2.10 показано монтаж розробленої системи керування освітленням та пульта керування. Вимикачі підключені паралельно до виходів реле, таким чином вмикати освітлення можна як дистанційно, так безпосередньо вимикачем. При натисканні віртуальної кнопки на пристрої (в додатку), з контролера подається сигнал на групу реле, замикається потрібний контакт, подається напруга на потрібний світловий прилад. Вимикається аналогічно. У випадку синхронізації даної системи із загальною інтелектуальною системою керування лабораторії керування здійснюється наступним чином: оскільки давач освітленості в нас один, то інформація про рівень освітленості передається з контролера, до якого під'єднаний давач через мережу Wi-Fi на контролер системи освітлення, з якого в свою чергу подається дискретний сигнал на реле керування світильником.

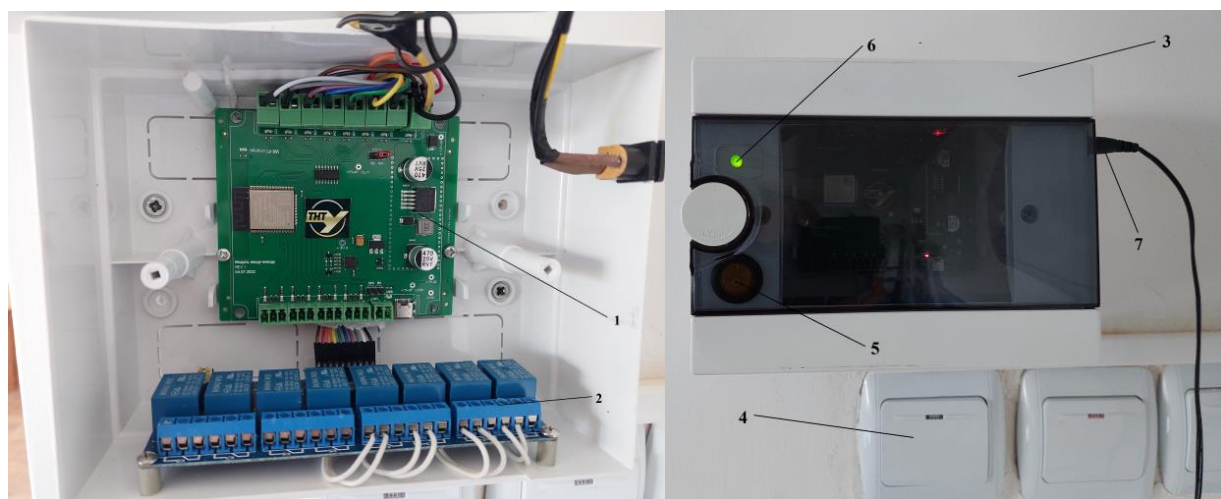


Рисунок 2.10 - Пульт керування освітленням: 1 – Wi-Fi контролер керування; 2 – реле керування виконавчими механізмами; 3 – лицева сторона пульта; 4 – вимикач 220В; 5 – вимикач живлення 12В; 6 – світлодіодний індикатор живлення; 7 – живлення 12В

В якості реле керування використано 8-канальний модуль реле 12В для Arduino PIC ARM AVR, 4 реле знаходяться в резерві(рис.2.11)[22].



Рисунок 2.11 - Модуль реле Arduino для керування освітленням лабораторії

Принципова електрична схема системи керування системою освітлення розроблена та змодельована в програмному пакеті Proteus, показана на рис.2.12.

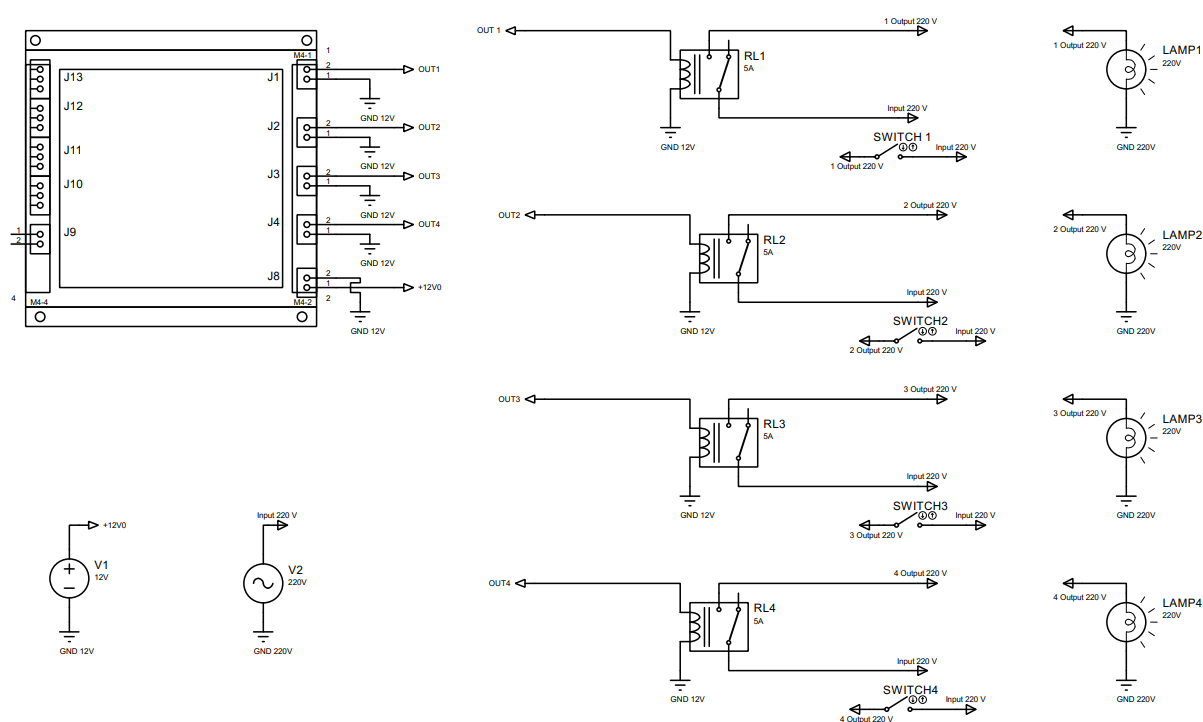


Рисунок 2.12 - Схема електрична принципова системи керування освітленням лабораторії

В лабораторії передбачена також інтелектуальна система вентилявання повітря (свого роду «клімат-контроль»). Для цього в резерві залишено 4 реле, та контакти на контролері (рис. 2.10), за допомогою яких буде здійснюватися керування системою вентиляції. Для моніторингу та корегування температури, вологості та інших параметрів повітря будуть використовуватися відповідні датчики та

виконавчі пристрої (електричні термометри, гігрометри та різного типу витяжні/припливні вентилятори).

2.3 Синхронізація роботи інтелектуальної системи керування з навчальною SCADA-системою «Енергія» та системою телемеханіки «Стріла»

Керування за допомогою телемеханіки базується на підключенні Wi-Fi контролера керування до цієї системи або через послідовний порт RS-485 чи USB-порт. Керування розробленою системою у даному випадку здійснюється за допомогою персонального комп'ютера або ноутбука, на яких встановлено навчальну SCADA-систему «Енергія». Ця система є тренажером автоматизованої системи диспетчерського управління для дослідження і керування режимами електроенергетичних систем [1, 2]. Тренажер представляє собою апаратно-програмний комплекс і використовується в навчальному процесі для проведення занять з протиаварійних тренувальних навчань з відображенням оперативної обстановки електроенергетичній системі. Тренажер дозволяє моделювати під час практичних занять режими роботи електричної мережі, а також підключати різні виконавчі механізми і обладнання та керування ними дистанційно.

При запуску програми на моніторі комп'ютера з'являється спеціальний інтерфейс для керування, аналогічно мобільному додатку (рис. 2.13). Натиснувши курсором миші на елемент керування, схема працює за тим же алгоритмом, як і з керуванням за допомогою пульта чи мобільного додатку.

Перевагою даного варіанту керування є те, що системою можна керувати з будь-якого місця при наявності мережі Internet[19]. Крім того, при використанні системи телемеханіки можна запрограмувати роботу системи зашторення на будь-який режим (на добу, на місяць, на рік), а також примусово відключити дачав освітлення. За допомогою системи телемеханіки передбачена можливість керування розробленою гібридною сонячною міні-електростанцією.

На рис. 2.14 приведено роботу системи освітлення та рулонних штор від розробленої гібридної сонячної міні-електростанції.

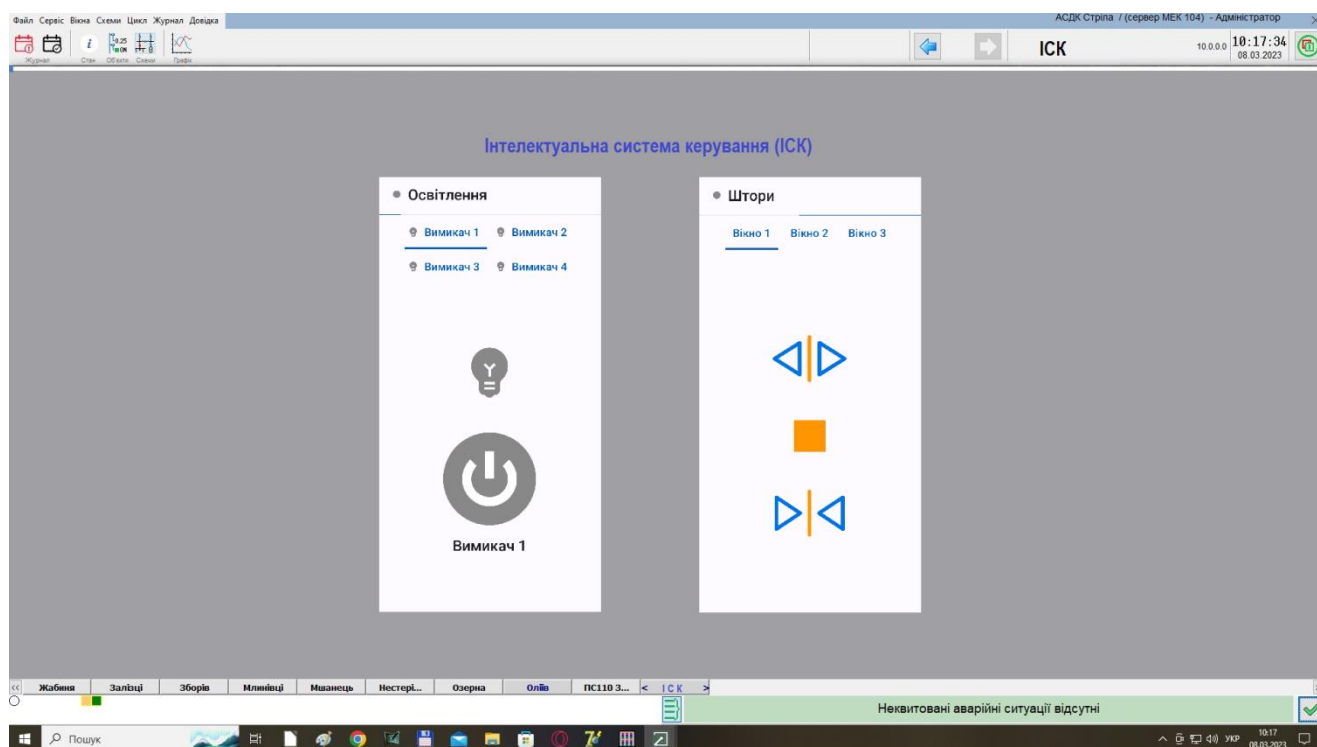


Рисунок 2.13 - Вікно програми керування інтелектуальною системою в середовищі системи телемеханіки «Стріла»

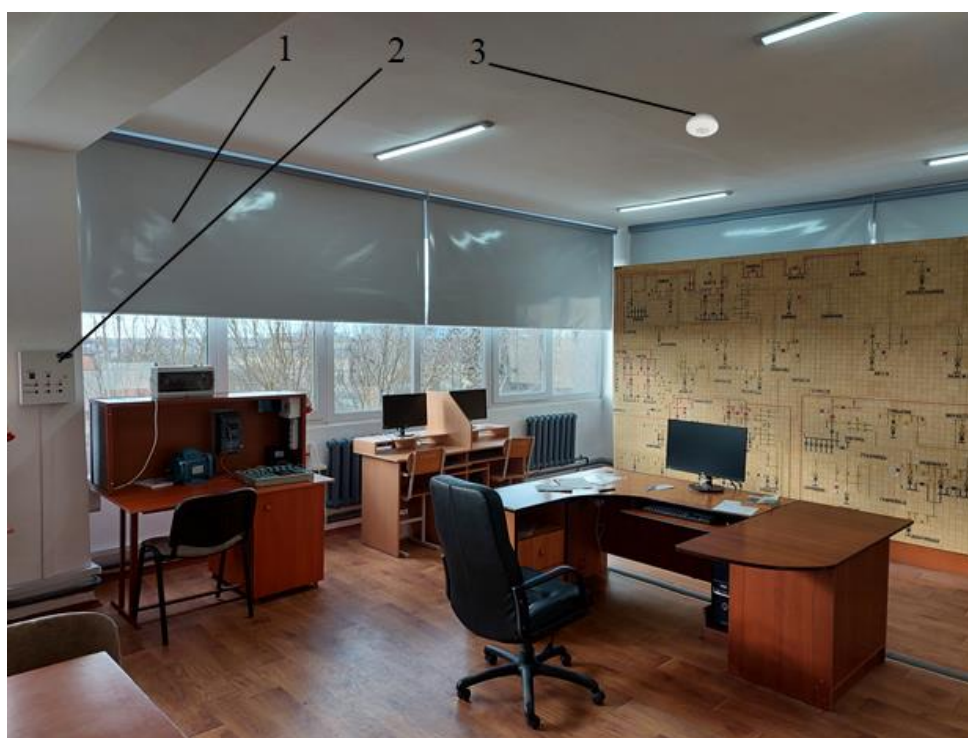


Рисунок 2.14 - Робота системи освітлення та ролонних штор від розробленої гібридної сонячної міні-електростанції: 1 – ролонні штори; 2 – пульт керування; 3 – безпроводний сенсор освітленості

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Система інтелектуального управління електропостачанням

В цьому розділі було проведено аналітичні дослідження методів розрахунку інтелектуальної системи керування розробленою гібридною міні-електростанцією із забезпеченням безперебійної роботи виконавчих механізмів. Такі дослідження надають можливість забезпечити потребу автоматизованих виробництв практично підготовленими інженерними фахівцями, які будуть здатні успішно працювати в умовах їх насиченої інформатизації. Крім того це дозволяє підвищити рівень підготовки майбутніх фахівців до виробничої діяльності ще під час проведення навчального процесу. Це також дозволяє освоїти студентами практичний аспект скорочення електроспоживання, зокрема навчитися виконувати удосконалення процесів виробництва, розподілу та використання електроенергії, які лежать в основі побудови інтелектуальної системи електропостачання.

Інтелектуальні системи зазвичай будуються на основі штучного інтелекту і їх інтелектуальність полягає у можливості моделювати розумну поведінку живої істоти. Під інтелектуальною системою можна вважати таку адаптивну систему, яка здатна формувати управління на основі виниклої в даний момент часу ситуації [23].

Розрахунки, дослідження та випробовування розробленого проєкту проводилось на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Отримані результати спрямовані на підвищення рівня підготовки майбутніх фахівців в умовах високої автоматизації і інформатизації ще під час проведення навчального процесу. Для вирішення завдання керування гібридною сонячною міні-електростанцією та виконавчими механізмами було використано розроблену інтелектуальну систему керування, алгоритм керування реалізовано мовою програмування C/C++. Для оцінки

запропонованих методів проведені експериментальні дослідження, які підтверджують достовірність та адекватність прийнятих рішень.

В умовах виробничої сфери України до технологічного виробничого обладнання пред'являються нові, надзвичайно суворі вимоги щодо забезпечення умов енергетичної ефективності, безпеки та екологічності. Виконання таких вимог можна досягти за рахунок впровадження нових і вдосконалення діючих автоматизованих систем управління технологічними процесами, у тому числі і при впровадженні систем автоматичного керування електроприводами. Одним із таких напрямків підвищення ефективності роботи діючих підприємств є впровадження сучасних інтелектуальних систем моніторингу та діагностування технологічного процесу та обладнання [24].

3.2 Платформи для керування інтелектуальними мережами

В цьому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто завдання модернізації енергетичної стратегії України, зокрема проблеми створення та чинники ефективності сучасних інтелектуальних електричних мереж - smart grids [25]. При використанні таких мереж можна перейти від окремих покращень у технічній сфері в системах управління електроенергетикою до системних - підвищення рівня якості менеджменту виробництвом та застосування електроенергії на рівні держави та окремого суб'єкта господарювання чи побутового споживання.

Новизна цієї роботи полягає у підвищенні рівня вироблення енергії з відновлюваних, чистих та практично необмежених ресурсів, до яких входять вітер, сонце та вода. У зв'язку з цим у багатьох державах світу розробляються проекти зі створення smart grids, що, є важливою передумовою для майбутньої зміни технологічних пріоритетів у галузі електроенергетики. Такі мережі є драйвером модернізації і частини економічної галузі. Стандартні методи енергозбереження себе уже вичерпали і необхідно переходити до заміни окремих технічних покращень системними, які пов'язані безпосередньо з підвищеною якістю управ-

ління на рівні держави та конкретних суб'єктів господарювання, а також на рівні споживачів.

На основі цього інтелектуальна мережа є системою з власним контролем, яка може приймати електроенергію від будь-яких джерел, щоб перетворювати її в тепло, світло та теплу воду при мінімальних витратах і мінімальній участі людини. Ця технологія передбачає об'єднання електромереж виробників та споживачів енергії в одну систему, що в реальному часі дає змогу відслідковувати, контролювати та керувати режимами роботи всіх її учасників.

При постійному перетворенні електричної енергії в іншу форму область застосування електрики є обмеженою, а різноманітність корисних пристроїв проявляється при ефективному контролі та взаємодії з електрикою. Тут можна виділити декілька способів: управління системою вручну і автоматизоване керування.

Керувати електричним колом, вимірювати напругу можна також не тільки вручну, але й автоматично, за заданими алгоритмами при використанні програмованого мікроконтролера. Такі технології спрощують процес взаємодії із мікроконтролером і типовим рішенням в цьому випадку є сучасні плати на базі Arduino.

Платформа Arduino являє собою розроблений для цього інструмент, який дозволяє проектувати електронні пристрої у тісному взаємозв'язку з фізичним середовищем і які не виходять за рамки віртуальної реальності. Платформа базується на відкритому коді, а пристрій створено на основі друкованої плати з вбудованим у неї програмним забезпеченням.

На сьогодні Arduino застосовується для створення електронних систем, які здатні приймати інформаційні дані від різних давачів - аналогових і цифрових. Обладнання на Arduino може функціонувати у комплексі із програмним забезпеченням окремих ПК, а також в автономному режимі. Принцип роботи полягає у збиранні даних від різних давачів у приміщеннях, які направляються по Wi-Fi

мережі на гаджети або ПК, і далі а допомогою відповідного програмного забезпечення відбувається їх обробка та подальше виконання конкретної команди [26].

Для реалізації такої концепції необхідно перейти від кількісних оцінок електроенергії до якісних на підставі інформаційно-енергетичних систем. Це вимагає вдосконалення наявних управлінських моделей на макрорівні, а також створення нових для мікро- та мезорівнів у розподільчих мережах.

Отже, основною метою технології smart grid є впровадження відновлюваних джерел електроенергії, які є менш надійними джерелами, ніж викопне паливо. Саме з цієї причини виникає потреба у складніших системах діагностики, керування та регулювання. Виходячи з цього, створення smart grid передбачає наявність основних трьох блоків керування: споживанням; аварійним режимом; мережею в цілому.

Потрібна також розробка та впровадження комплексу інноваційного обладнання та відповідних технологій:

- пристроїв для підвищення межі пропускної спроможності ліній електропередачі;
- високовольтних пристроїв для оперативного регулювання рівня напруги в системі;
- накопичувачів електроенергії на основі потужних акумуляторів.

3.3 Характеристика навчальної лабораторії

Навчальна лабораторія систем управління електропостачанням є сучасною лабораторією, що дозволяє проводити лабораторні заняття фронтальним методом з комплексним використанням технічних засобів навчання. Вона оснащена унікальними лабораторними стендами, розрахованими на проведення лабораторних робіт для студентів електротехнічних спеціальностей за повними та скороченими навчальними програмами. Кожен лабораторний стенд забезпечує виконання парою студентів декілька лабораторних робіт з: моделювання диспетчерського керування, моделювання релейного захисту, моделювання компенсації реактив-

ного навантаження, моделювання роботи виконавчих механізмів, моделювання роботи гібридної сонячної міні-електростанції та моделювання роботи автоматичного включення резервного живлення навантаження.

Лабораторія систем управління електропостачанням призначена для практичного вивчення методів засобів управління електропостачанням, релейного захисту, отримання навичок самостійного проведення основних типів випробувань апаратури телемеханіки, цифрових блоків релейного захисту, знайомство з методикою розрахунку та налаштування окремих контрольованих пунктів, блоків релейного захисту та однолінійних електричних схем електропостачання.

Найбільш часті пошкодження електроустановок відбуваються через струми короткого замикання (КЗ), що виникають в системі. Поширені струми КЗ між фазами електроустановки, струми КЗ фаз на землю в системі з глухозаземленою нейтраллю. У трансформаторах та електричних машинах можуть виникнути струми КЗ між витками обмотки однієї із фаз. Для запобігання пошкодженням після появи аварії необхідно знайти та вимкнути елемент, пошкоджений у системі. З цим завданням справляється система телемеханіки та релейний захист і автоматика, зокрема цифрові блоки захисту. Система телемеханіки і релейний захист, спрацьовуючи, вимикає певний елемент, а потім пристрій автоматики запускає автоматичне включення резерву.

До основних засобів телемеханіки і релейного захисту відносять:

- пускові засоби, що контролюють стан та режим роботи захисного обладнання і виконуються за допомогою реле струму, напруги та потужності;
- вимірювальні засоби на базі реле з логічною схемою, яка запускається пусковими органами, порівнює послідовність та тривалість вимірювальних засобів, відключає вимикач та запускає інші пристрої;
- логічна частина включає елементи часу;
- виконавча частина, яка спрацьовує на відключення вимикачів або інших зовнішніх пристроїв.

Студент, який починає виконання лабораторних робіт з систем управління електропостачанням, повинен знати та розуміти призначення лабораторного обладнання. При короткому замиканні до місця пошкодження підходять великі струми, що перегрівають струмопровідні частини та приносять додаткові пошкодження. Найчастіше запобігти аварії можна шляхом відключення пошкодженої ділянки електроустановки і цю функцію виконує система телемеханіки та цифрового релейного захисту.

У момент відключення вимикача гасне електрична дуга, припиняється проходження струму КЗ та відновлюється значення напруги в електричній мережі. Таким чином, призначення системи телемеханіки та релейного захисту - це виявлення місця виникнення струму КЗ і швидке відключення вимикачів пошкодженого обладнання або ділянки кола, а також виявлення порушень нормального режиму роботи системи та подання сигналів попередження обслуговуючого персоналу [27].

З метою успішного виконання лабораторних робіт студенти отримують інструкцію з виконання кожного завдання, а результатом практикуму буде звіт. Перед початком роботи студент має пройти інструктаж з техніки безпеки. Кожна лабораторна робота включає мету, порядок проведення, зміст звіту та контрольні питання.

Лабораторія систем управління електропостачанням має площу рівну 80 м², і в ній буде розміщено 8 стендів, 1 стіл для викладача, 1 стіл диспетчера, мультимедійний проектор, моторизований мультимедійний проектор та 1 навчальна дошка. За кожним стендом можуть працювати два студенти: один за комп'ютером, а інший - з лабораторним обладнанням.

На рис. 3.1 приведено схему електропостачання лабораторії.

На рис. 3.2 приведено план лабораторії систем управління електропостачанням та розміщеного в ній навчального обладнання.

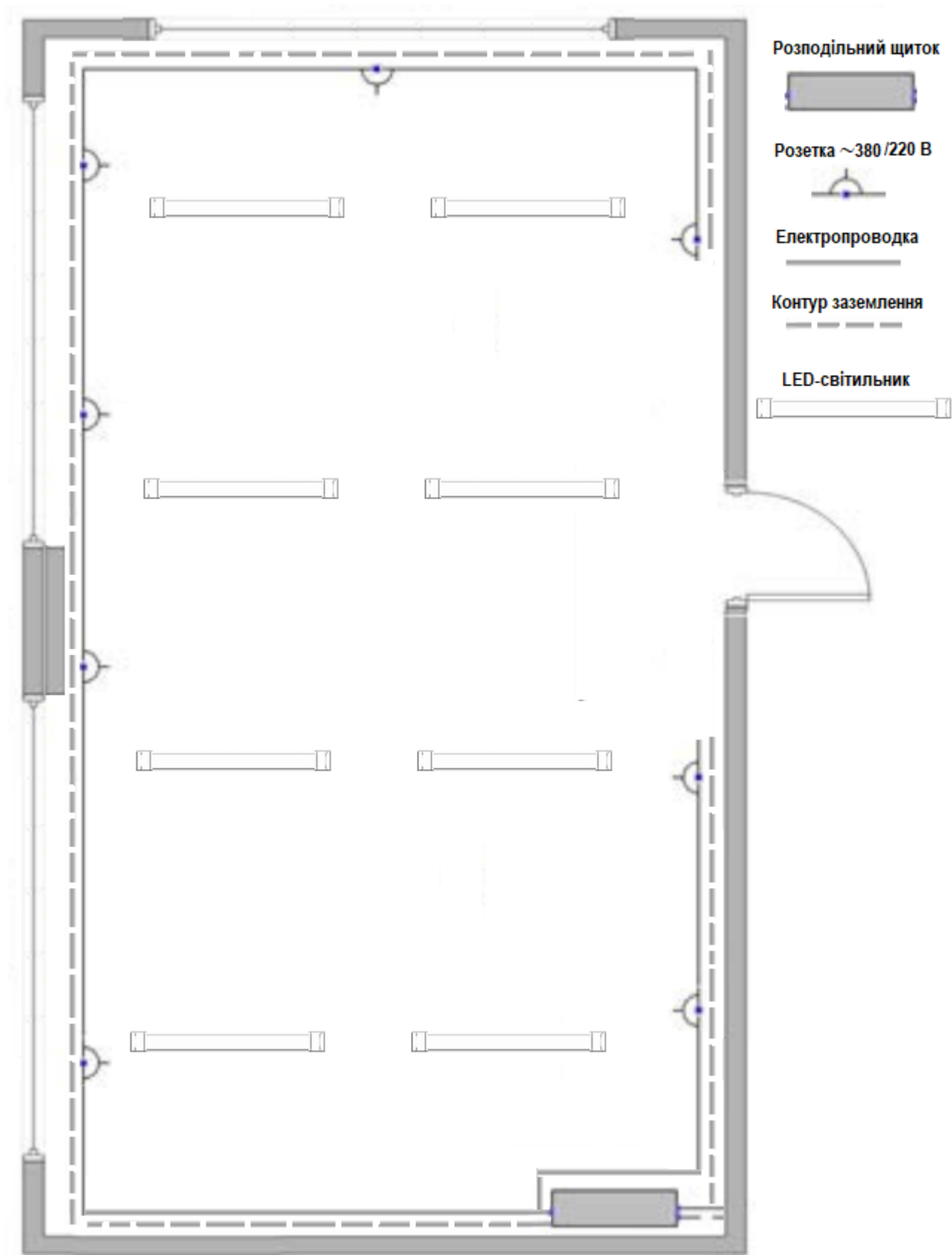
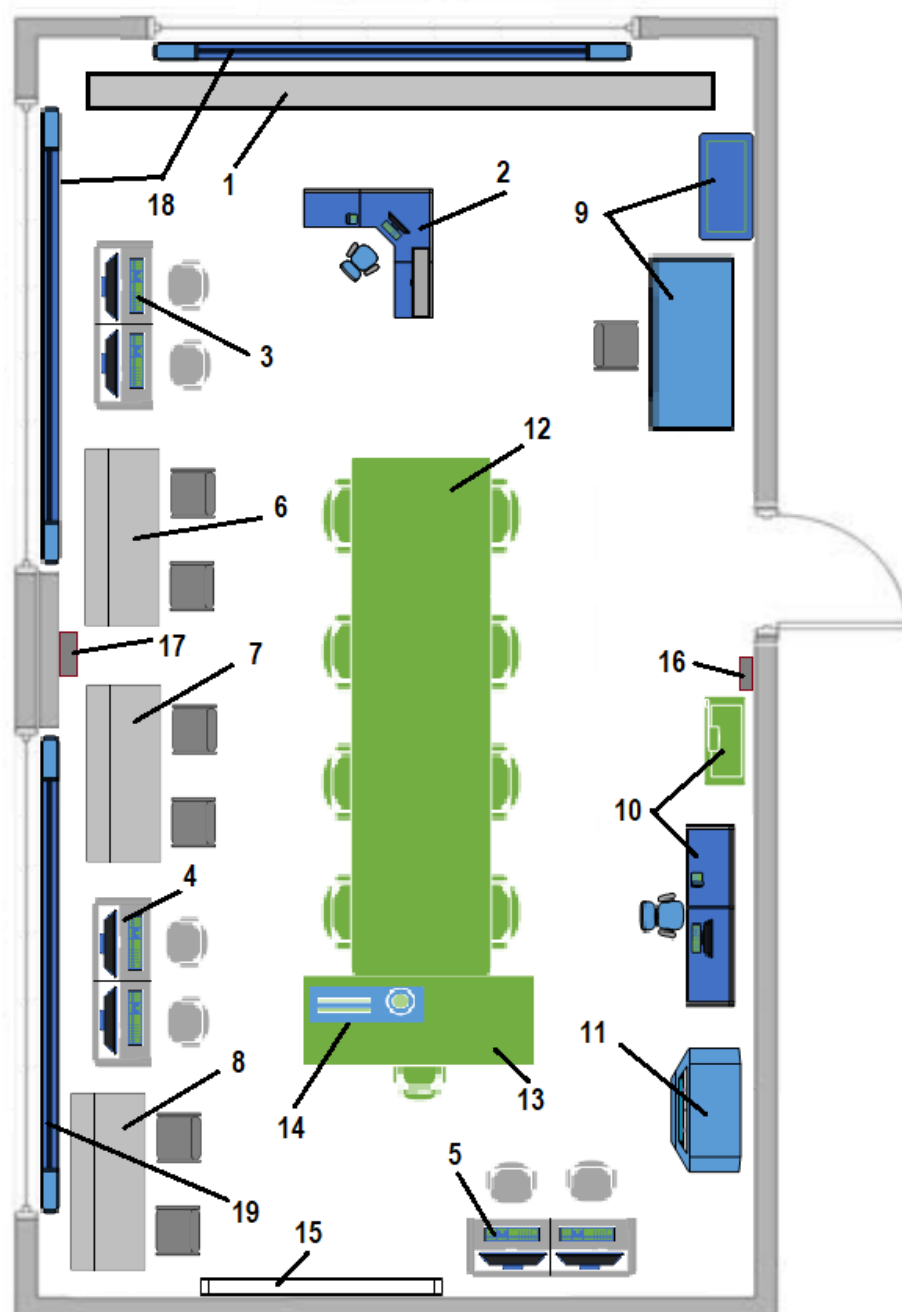


Рисунок 3.1 - Схема електропостачання лабораторії



- | | |
|---|---|
| 1 - Диспетчерський щит | 13 - Робочий стіл викладача |
| 2 - Робоче місце диспетчера | 14 - Мультимедійний проектор |
| 3, 4, 5 - Комп'ютери | 15 - Мультимедійний моторизований екран |
| 6, 7, 8 - Лабораторні стенди телемеханіки і цифрового релейного захисту | 16 - Система дистанційного керування освітленням |
| 9 - Лабораторний стенд компенсації реактивної потужності | 17 - Система дистанційного керування віконними жалюзі |
| 10 - Лабораторний стенд керування сонячною мініелектростанцією | 18, 19 - Рулонні жалюзі |
| 11 - Лабораторний стенд автоматичного введення резерву | |
| 12 - Стіл для самостійної роботи студентів | |

Рисунок 3.2 – План лабораторії систем управління електропостачанням

3.4 Характеристика стенду «Телемеханіка і релейний захист»

Лабораторний стенд має назву «Телемеханіка і релейний захист в системах електропостачання» (на базі Автоматизована система диспетчерського керування «Стріла» [20]). Він призначений для виконання студентами лабораторних практикумів з дисципліни «Системи управління електропостачанням». Завдяки репродуктивному характеру лабораторної роботи студенти виконують поставлену мету, дотримуючись інструкцій та вказівок, а також відповідно до загальноприйнятих вимог використовують лабораторне обладнання та навчальну літературу.

Стенд з телемеханіки та релейного захисту типового комплексу, до якого входить:

- трифазне джерело живлення – 1 шт;
- однофазне джерело живлення – 1 шт;
- кнопковий пост керування – 1 шт;
- блок системи телемеханіки – 1 шт;
- блок цифрового релейного захисту – 1 шт;
- блок вимірювальних трансформаторів струму та напруги – 1 шт;
- блок перетворювачів напруги – 1 шт;
- вимірювач струму та часу – 1 шт;
- комп'ютерний стіл – 1 шт;
- лабораторний стіл з дворівневою рамою – 1 шт;
- асинхронний електродвигун;
- персональний комп'ютер - 1 шт.

Номінальна потужність стенду становить 750 Вт, електроживлення здійснюється від трифазної мережі змінного струму з робочим нульовим та захисним провідниками напруги 380/220 В, з частотою 50 Гц. Ширина стенду становить 800 мм, довжина 1200 мм, висота 1400 мм, а вага 50 кілограм (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд стенду «Телемеханіка та релейний захист в системах управління електропостачанням»

3.5 Розрахунок номінальних навантажень стендів

У лабораторії передбачається встановити 3 стенди «Телемеханіка та релейний захист» з напругою 380/220 В. Враховуючи лабораторні роботи з деяких дисциплін, розрахуємо номінальні електричні навантаження для всіх стендів за номіналом напруги.

Номінальні значення напруги живлення будуть рівні максимальній потужності підключених електричних приймачів у цій лабораторній роботі:

$$P_n = \sum P_{n.} \quad (3.1)$$

Розрахуємо номінальні потужності напруги живлення для одного стенду:

$$P_{\sim 380/220} = 0,75 \cdot 3 = 2,25 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт навантаження для навантаження на змінній напрузі зводимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 - Номінальні навантаження стендів

Найменування електроприймача	U_n , В	P_n , кВт	$\cos\varphi$
Лабораторний стенд	$\sim 220/380$	2,25	0,67

Навантаження прийнято, виходячи з максимального навантаження на лабораторних роботах.

3.6 Розрахунок електричних навантажень

Одним із базових етапів проектування систем електропостачання об'єкта є правильне визначення очікуваних електричних навантажень - електроприймачів та вузлів навантаження на всіх рівнях системи електропостачання.

Розрахункові значення навантажень повинні відповідати заданому незмінному струмовому навантаженню, яке еквівалентне фактичному змінному у часі навантаженню, за найбільшим тепловим впливом без перевищення допустимих значень на елемент системи електропостачання.

При відомих значеннях електричних навантажень можна вибрати потрібну потужність силових трансформаторів, потужність і місце підключення компенсуючих пристроїв, вибрати і розрахувати струмопровідні частини за умовою допустимого нагрівання, розрахувати втрати і коливання напруги, підібрати необхідні види захистів.

Існують різні методи розрахунку електричних навантажень, які у свою чергу поділяються на основні та допоміжні.

До основних методів розрахунку електричних навантажень можна віднести наступні:

- за коефіцієнтом використання та номінальною потужністю;
- за коефіцієнтом попиту та номінальною потужністю;
- за розрахунковим коефіцієнтом та середньою потужністю;
- за відхиленням розрахункового навантаження від середнього та середньою потужністю;
- за коефіцієнтом форми графіка навантаження та середньою потужністю.

Застосування перерахованих методів визначається згідно допустимої похибкою розрахунків та наявності початкових даних [29].

Розрахунок електричних навантажень здійснюється відповідно до рівнів проектування. Використаємо метод за номінальною потужністю та коефіцієнтом використання. Розрахунок електричних навантажень електричних приймачів напругою менше 1 кВ виконується для кожного вузла живлення, а також в цілому для навчальної лабораторії. При відомих довідникових інтервальних значеннях K слід приймати для розрахунку найбільше значення. Розрахунок виконаємо для навантажень напругами змінного струму 380/220 В і для постійного струму, щоб потім порівняти потужності трансформатора.

Розрахункову активну потужність навчального лабораторного стенду можна визначити за формулою:

$$P_p = P_c \cdot K_p, \quad (3.2)$$

де K_p – коефіцієнт розрахункової потужності;

P_c - групова середня активна потужність, кВт.

$$P_p = 2,25 \cdot 1,96 = 4,41 \text{ кВт.}$$

Групову середню активну потужність визначимо за такою формулою:

$$P_c = \sum P_n \cdot K_i, \quad (3.3)$$

де $\sum P_n$ – сумарна номінальна потужність, кВт;

K_i - коефіцієнт використання.

$$P_c = 2,25 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ кВт.}$$

Сумарну середню реактивну потужність визначаємо за формулою:

$$Q_\phi = P_c \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (3.4)$$

$$Q_c = 2,25 \cdot 1,05 = 2,36 \text{ кВАр.}$$

Розрахункову реактивну потужність визначимо за формулою (3.5), а ефективну кількість електричних приймачів - за формулою (3.6).

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_c. \quad (3.5)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 2,36 = 2,6 \text{ кВАр.}$$

$$n_e = (2 \cdot \sum P_n) / P_{\max, n}, \quad (3.6)$$

де n_e - ефективна кількість електричних приймачів, шт.

$$n_e = (2 \cdot 2,25) / 0,75 = 6 \text{ шт.}$$

Визначаємо повну розрахункову потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (3.7)$$

$$S_p = \sqrt{4,41^2 + 2,6^2} = 5,12 \text{ кВА.}$$

Отримані результати розрахунків за формулами (3.2 – 3.7) заносимо до табл. 3.2 і 3.3.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку електричних навантажень

Назва вузлів живлення і груп ЕП	Кількість приймачів робочих/ резервних, п	Встановлена потужність, кВт			Кі	cosφ	tgφ
		Одного ЕП (найменшого, найбільшого)		Загальна (робочих/ резервних) ∑ Рн, кВт			
		Р _{нmin} , кВт	Р _{нmax} , кВт				
ЕП ~380/220 В	6	0,75	0,75	2,25	1	0,67	1,05

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку електричних навантажень

Назва вузлів живлення і груп ЕП	Середнє навантаження		p_e	K_p	Максимальне навантаження		
	P_c , кВт	Q_c , кВАр			P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА
ЕП ~380/220 В	2,25	2,36	6	1,96	4,41	2, 6	5,12

3.7 Розрахунок і вибір кабелів для підключення стендів

Відповідно з державних стандартів електричні кабелі є найбільш захищеними конструкціями, а їх дротова частина виготовляється з кольорових металів з високими показниками електропровідності, зокрема з міді та алюмінію.

Жила кабелю складатися з одного або декількох звитих тонких дротів. Технологічно однопровідна жила є кращим провідником електричного струму, але товстіший провідник важче зігнути. За формою перерізу жили кабелю можуть бути круглими, секторними та сегментними.

Оболонки кабелю виконуються:

- паперовими просоченими;
- полімерними (поліетиленові та полівінілхлоридні);
- інші (гума, лак, шовк, бавовняне волокно, полістирол).

Розрахунковий струм навантаження для однофазного кола змінного струму можна визначити за наступною формулою:

$$I_p = \frac{P}{(\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi)}, \quad (3.8)$$

де P - розрахункове максимальне навантаження, Вт;

U - номінальна напруга мережі, В;

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності.

Розрахунковий струм електричного приймача ~380/220В першого навчального лабораторного стенду буде становити:

$$I_p = \frac{2250}{(\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,67)} = 5,11 \text{ A}$$

Аналогічним способом розрахуємо інші електричні приймачі та занесемо дані до табл. 3.4. Діаметр жили кабелю вибираємо відповідно до умовою, а дані заносимо до табл. 3.4:

$$I_{\text{д.к.}} \geq I_p \quad (3.9)$$

Вибираю кабель марки ПВС 4х2,5 перетином $S=2,5 \text{ мм}^2$, $I_{\text{д.к.}} = 20 \text{ А}$.

$$20 \text{ А} > 5,11 \text{ А}.$$

Умова виконується - провід вибрано правильно.

Також обраний кабель необхідно перевірити на втрату напруги за такою формулою:

$$\Delta U = \left(\frac{10^5}{U_{\text{ном}}^2 \cdot \cos \varphi} \right) \cdot P_{\text{ном}} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (3.10)$$

де $U_{\text{ном}}$ - номінальна напруга мережі, В;

$P_{\text{ном}}$ - номінальна потужність електричного приймача, кВт;

r_0 - питомий активний опір провідника, кОм/м;

x_0 - питомий реактивний опір провідника, кОм/м.

Перевіримо вибраний провід для електричного приймача на втрату напруги:

$$\Delta U = \left(\frac{10^5}{380^2 \cdot 0,67} \right) \cdot 0,75 \cdot ((0,27 \cdot 0,67 + 0,005 \cdot 0,74) \cdot 10^{-3}) = 1,85\%.$$

Оскільки як $\Delta U < 5\%$, то кабель вибрано правильно.

Таблиця 3.4 - Вибір кабелів для підключення стендів

Назва ЕП		P_n , кВт	I_p , А	$\cos \varphi$	Марка кабелю	$I_{\text{доп}}$, А	ΔU , %
Лабораторний стенд	ЕП ~380/220 В	2,25	5,11	0,67	ПВС 4х2,5	20	1,85

Провід ПВС має універсальне застосування в офісах і промисловості та розрахований на підключення до електричної мережі різних приладів та облад-

нання, що потребують прокладання зовнішньої тимчасової або постійної мережі. Провід випускається з 3 або 4 струмопровідними жилами. За рахунок подвійної полімерної захисної ізоляції та оболонки застосування дроту ПВС може мати широке призначення для прокладання електричних мереж обладнання.

3.8 Розрахунок та вибір автоматів захисту

Головне завдання автоматичного вимикача полягає у швидкому визначенні наднормового струму та відключення мережі ще до пошкодження кабелю та підключеного до лінії обладнання. Небезпечними для електричної мережі є струми перевантаження, коли сумарна потужність приладів перевищує номінальну потужність вимикача, та надструми внаслідок короткого замикання.

Автоматичні вимикачі поділяються на декілька класів [30]:

- прилади класу А мають найвищу чутливість, спрацьовують при перевищенні силою струму номіналу на 100% і використовуються в лініях, при роботі яких неприпустимі навіть короточасні навантаження (кола з включеними до них напівпровідниковими елементами);

- прилади класу В мають меншу чутливість у порівнянні з типом А і спрацьовують при перевищенні номінального струму на 200%, а час на спрацьовування і використовуються в лініях з розетками, приладами освітлення та інших колах, де пускове підвищення електроструму відсутнє або має мінімальне значення;

- прилади класу С найпоширеніші у побутових мережах, а їх перевантажувальна здатність вище за класи А і В. Для спрацювання такого приладу потрібно, щоб струм перевищив номінальну величину у 5 разів (відбувається через 1,5 с). Вони використовуються у якості ввідних пристроїв для захисту загальної мережі, тоді як для груп розеток та освітлювальних приладів використовуються апарати класу В;

- прилади класу D найчастіше використовуються у загальних мережах будівель та споруд, де вони використовуються у якості допоміжних і спрацьовують у

тому випадку, коли не спрацювали автомати захисту кола окремих приміщень. Їх встановлюють у колах з великими пусковими струмами (електродвигуни).

Визначаємо номінальний струм за формулою (3.8):

$$I_n = \frac{2250}{(\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,67)} = 5,11 \text{ A}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач згідно наступної умови, а дані заносимо до табл. 3.5:

$$I_{т.р} \geq 1,1 \cdot I_n. \quad (3.11)$$

Вибираємо автоматичний вимикач для електричного приймача на напругу ~380 В фірми АВВ: S203-C16 (16А, тип С, 6 кА, $I_{т.р.} = 16 \text{ А}$ з додатковим диференціальним захистом).

$$I_{т.р.} = 1,1 \cdot 5,11 = 5,6 \text{ А}.$$

$$16 \text{ А} \geq 5,6 \text{ А}.$$

Умова виконується, відповідно, автоматичний вимикач вибрано правильно.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку автоматів захисту

Назва ЕП	P_n , кВт	I_p , А	$\cos \varphi$	$I_{т.р.}$, А	Марка захисного апарату
Лабораторний стенд ~380 В	2,25	5,11	0,67	20	S203-C16,16А, тип С, 6 кА

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Заходи щодо забезпечення безпеки при проведенні лабораторних робіт

Розроблена в кваліфікаційній роботі інтелектуальна система керування виконавчими механізмами на базі відновлювальних джерел встановлюється в лабораторії систем управління електропостачанням кафедри електричної інженерії.

Розроблена система є універсальною і дозволяє працювати в однофазних мережах із захисним заземленням. Живлення системи здійснюється від джерела постійного струму напругою 12 В. Під час експлуатації розробленої системи виникає небезпека механічних ушкоджень і ураження електричним струмом персоналу, який працює з виконавчими механізмами, які під'єднані до системи. З метою запобігання цим факторам безпеки всі механічні вузли електроприводу, які обертаються, закриті захисними ізоляційними кожухами. В силових струмопроводах застосована подвійна ізоляція, швидке відключення схеми в аварійних режимах, яке здійснюється автоматичним вимикачем. Корпуси електричних машин і апаратури керування заземлені.

На передній панелі ящика керування розробленої системи розміщений програмовані перемикачі та індикаторні лампи, що сигналізують про наявність напруги в системі керування.

Так як в розробленій системі присутні компоненти, що легко загоряються, то в лабораторії передбачені засоби пожежогасіння[31]. Матеріали, які можуть загорітися в процесі експлуатації електроустаткування внаслідок перегріву, це

є: ізоляція проводів; фарба, якою покриті корпуси машин; елементи кола керування і ящик системи керування.

Основні засоби пожежогасіння, що знаходяться в лабораторії:

- вогнегасник повітряно-пінний типу ВПП-5;
- ящик із сухим піском.

4.2 Розрахунок захисного заземлення обладнання лабораторії

Роботи в діючих електроустановках, як до так і вище 1000 В входять до переліку робіт з підвищеною небезпекою, затвердженого згідно Наказу Мінсоцполітики №140, який вступив в дію від 30 січня 2017 р.

Розроблена інтелектуальна система керування виконавчими механізмами на базі відновлювальних джерел не є потенційним джерелом випадкового ураження студентів і технічного персоналу електричним струмом. Оскільки розроблена система буде експлуатуватися в новоствореній лабораторії систем управління електропостачанням, було прийнято рішення виконати розрахунок захисного заземлення цієї лабораторії.

Електробезпека експлуатації електричних установок (ЕУ) у разі виникнення напруги непрямого дотику і напруги кроку забезпечує захисне заземлення. *Захисне заземлення* – це заземлення точки або точок електричної системи та струмопровідних частин ЕУ з метою безпечного функціонування та використання[32]. Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки ураження електричним струмом у разі порушення ізоляції і появи напруги на корпусі ЕУ. Принцип дії – перетворення замикання на корпус в однофазне замикання (замикання між фазним та нульовим проводами), яке здатне забезпечити спрацювання систем захисту і автоматичне від'єднання пошкодженої ЕУ від джерела живлення (ДЖ).

Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) обмежують найбільші опори заземлення[33]:

- для електроустановок напругою до 1000 В:
- при сумарній потужності генераторів або трансформаторів в мережі живлення не більше 100кВт або 100 кВА – 10 Ом;
- в інших випадках – 4 Ом;

У мережах із заземленою нейтраллю до 1 кВ використання занулення і захисного заземлення зменшує потенціал корпусу до безпечної величини і забезпечує швидке та надійне вимикання пошкоджених ЕУ за рахунок спрацювання струмового захисту, оскільки струм замикання I_{κ} в цьому випадку дорівнює сумі двох складових: струму I'_{κ} через занулення і струму через захисне заземлення I''_{κ} , а потенціал корпусу: $I'_{\kappa} = I''_{\kappa} > R$ [33].

Згідно ПУЕ, в установках вище 1000В із малими струмами замикання на землю опір заземлюючого контуру (пристрою) повинен задовольняти умову:

$$10 \geq R_3 \leq \frac{250}{I_3} \quad (4.1)$$

де 250 - потенціал землі, В;

I_3 - розрахунковий струм замикання на землю, який протікає через заземлювач, А.

В нашому випадку заземлюючий пристрій при потребі може використовуватися для установок напругою вище 1000В, а також для установок до 1000В і для приєднання до заземлюючого контуру грозозахисту з метою захисту обладнання

стенду. В цьому випадку згідно ПУЕ опір заземлення не повинен перевищувати 4 Ом:

$$R_3 \geq 4 \text{ Ом}$$

Знаходимо опір вертикально забитого в землю електрода:

$$R_{el} = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2e}{d} + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4t+l}{4t-l} \right) \right) \quad (4.2)$$

де ρ - опір землі 120 Ом;

l - довжина електрода, м;

t - відстань від центру електрода до поверхні землі.

$$R_{el} = \frac{120}{2\pi \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \times 5}{0.012} + 0.5 \ln \frac{(4 \times 3.3 + 5)}{(4 \times 3.3 - 5)} \right) = 27.1 \text{ Ом}.$$

Знаходимо необхідну кількість вертикально забитих електродів

$$n = \frac{R_{el}}{\eta R_{don}}, \quad (4.3)$$

де η - коефіцієнт використання заземлювачів - 0,66.

$$n = \frac{27.1}{0.66 \times 4} = 10.3 \approx 11 \text{ шт}$$

Знаходимо опір з'єднувальної полоси

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi e} \ln \frac{l_n^2}{0.5\pi n h}, \quad (4.4)$$

де l_n - довжина полоси, м ;

b - ширина полоси, м;

h - глибина закладання полоси, м.

$$R_n = \frac{120}{2\pi 120} \ln \frac{120^2}{0.5 \times 0.04 \times 0.8} = 6.3 \text{ Ом}$$

$$R_3 = \frac{R_{el}}{n\eta} = R / \left(\frac{R_{el}}{n\eta} + R_n \right) = \frac{27.1}{11 \times 0.66} 6.3 / \left(\frac{27.1}{11 \times 0.66} + 6.3 \right) = 2.3 \text{ Ом}$$

Цей опір менший від потрібного, і так як різниця не дуже велика і цим підвищуються умови безпеки. Отже, приймаємо цей результат як кінцевий.

4.3 Заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках

З метою забезпечення нормальних умов праці і життєдіяльності технічного персоналу та студентів при роботі із розробленою інтелектуальною системою керування виконавчими механізмами були застосовні такі технічні захисні заходи: мала напруга, контроль пошкодження ізоляції, забезпечення недоступності струмопровідних частин, захисне заземлення і занулення, подвійна ізоляція і захисне відключення[34, 35].

Мала напруга - це напруга не більше 42 В між фазами і відносно землі, що застосовується для зменшення небезпеки ураження електричним струмом. У виробничих умовах ПУЕ передбачають застосування двох малих напруг 12 і 36 або 42 В. Напруга до 42 В включно повинна застосовуватися в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних для живлення таких електроприймачів: ручних електрифікованих інструментів без подвійної ізоляції, переносних ламп, світильників місцевого стаціонарного освітлення з лампами накачування, світильників загального освітлення звичайної

конструкції з лампами розжарювання, розміщених над підлогою на висоті менше 2,5 м. Напруга не вище 12 В повинна застосовуватися для живлення ручних переносних ламп в особливо небезпечних приміщеннях при особливо несприятливих умовах роботи: в обмежених умовах або при зіткненні працюючого з великими металевими заземленими конструкціями.

Електрична ізоляція - це шар діелектрика або конструкція, виконана з діелектрика, якими покривають поверхні струмопровідних елементів або якими струмопровідні елементи відокремлюють від інших частин.

В електроустановках застосовують такі види ізоляції:

робоча ізоляція - електрична ізоляція струмопровідних частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від ураження електричним струмом;

додаткова ізоляція - електрична ізоляція, передбачена додатково до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;

подвійна ізоляція - електрична ізоляція, що складається з робочої та додаткової ізоляції;

посилена ізоляція - поліпшена робоча ізоляція, що забезпечує таку ж ступінь захисту від ураження електричним струмом, як і подвійна ізоляція.

Блокування безпеки - це пристрої, що запобігають потраплянню технічного персоналу і студентів під напругу внаслідок помилкових дій. В дипломній роботі було використано механічне, електричне і електромагнітне блокування.

Механічне блокування застосовується в електричних апаратах (рубильниках, пускачах, автоматичних вимикачах), а також в комплектних розподільних пристроях.

Електрична блокування застосовується в технологічних електроустановках напругою до 1000 В і випробувальних стендах при будь-яких напругах. Блокування відключає напругу від електроустановки при відкриванні дверей огорожень і дверцят кожухів або при знятті кришок. Для відключення напруги служать блокувальні контакти, які можуть включатися безпосередньо в силове коло або в коло управління пускового апарату, якщо управління електроустановкою дистанційне.

Електромагнітне блокування (ЕМБ) вимикачів, роз'єднувачів і заземлювальних ножів широко застосовується при різних схемах з'єднання обладнання і забезпечує певну послідовність включення і відключення цих апаратів. ЕМБ дозволяє виключити виникнення небезпечних ситуацій: включення або відключення роз'єднувача під навантаженням, включення заземлювальних ножів на ділянку лінії під напругою, подачу напруги на заземлений ділянку лінії.

Крім того, в кваліфікаційній роботі розраховано та використано *захисне заземлення* (пункт 4.2 цієї роботи), яке призначене для усунення небезпеки ураження електричним струмом у випадку дотику до корпусу та інших неструмопровідних частин електроустановок, які опинилися під напругою внаслідок замикання на корпус та інших причин.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті проведених досліджень в кваліфікаційній роботі було запропоновано вирішення поставленої задачі, зокрема проведено розробку інтелектуальної системи керування для лабораторії на базі відновлюваних джерел енергії.

2. Проведено аналіз систем - аналогів, вибрано оптимальні варіанти систем керування.

3. Виконано розрахунок електричних навантажень, потужності мережі живлення та перерізів проводів для живлення системи та для комутації.

4. Проведено розрахунок і вибір апаратів захисту в мережах до 1 кВ електропостачання лабораторії.

5. Проведено підбір виконавчих механізмів та їх електротехнічний розрахунок.

6. Для забезпечення роботи інтелектуальної системи керування в автономному режимі проведено синхронізацію обох контролерів в одну автоматизовану систему керування.

7. Проведено тестування роботи інтелектуальної системи для різних варіантів та режимів керування, непередбачуваних ситуацій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Orobchuk, Bogdan, et al. "Development of simulator automated dispatch control system for implementation in learning process." 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). Vol. 1. IEEE, 2017.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8095078>
2. Оробчук Б. Я. Впровадження систем телемеханіки керування енергооб'єктами в навчальному процесі / Богдан Оробчук, Олександр Рафалюк, Сергій Піскун // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування», 8-9 червня 2017 року. - Т. : ТНТУ, 2017. - С. 224–226. - (Світлотехніка і електроенергетика). https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/24250/2/FPT_2017_Orobchuk_B-Introduction_of_telemechanics_224-226.pdf
3. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.В. Праховник, С.П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52–67. <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/62229/08-Stogny.pdf?sequence=1>
4. Сонячні електростанції // Solar Systym: [Веб-сайт]. Рівне. URL: <https://solarsystem.com.ua/gibrid-stants%D1%96yi/> (дата звернення: 20.02.2023).
5. Оробчук Б.Я., Старик Ю.І. Впровадження технологічної радіомережі обміну даними. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін].– Тернопіль: ТНТУ, 2019. – Т. 3, С. 63-64. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/31036/2/MNTKv3_2019v3_Orobchuk_B_Y-Implementation_of_technological_63-64.pdf
6. Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика: навчальний посібник. / Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А.

- Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 332 с. http://socrates.vsau.org/method/getfile.php/25077.pdf?card_id=15792
7. European Smart Grids Technology Platform: vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. – European Commission, 2006. – 44 p. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a2ea8d86-7216-444d-8ef5-2d789fa890fc/language-en>
 8. Петергеря Ю.С., Жуйков В.Я., Терещенко. Інтелектуальні системи забезпечення енергозбереження житлових будинків. Навчальний посібник. – К.: Медіа-ПРЕС, 2008. – 256 с. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41110/1/Intellectual%20system_textbook.pdf
 9. Гунько І.В., Галушак О.О., Кравець С.М. Аналіз технологічних систем. Обґрунтування інженерних рішень: навч. посіб. Вінниця : ВНАУ, 2019. 216 с. ISBN 966-8271-77-7
 10. Інтелектуальні системи управління. Експертні системи – основи проектування та застосування в системах автоматизації [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»/КПІ ім. І. Сікорського; уклад. Л.Д. Ярошук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,56 Мбайт). – Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2019. – 136 с. – Назва з екрана.
 11. Сайт фірми «MIKRONIKA» <https://www.mikronika.pl/oferta/produkty/oprogramowanie/syndis/>
 12. Версії програмного забезпечення SYNDIS <https://www.mikronika.pl/oferta/produkty/oprogramowanie/syndis/wersje-oprogramowania-syndis/>
 13. Контролер RTU SO-5/ <https://www.mikronika.pl/oferta/produkty/urzadzenia/sterownik-rtu-so-52v21/>
 14. Що таке розумний будинок? Все що потрібно знати про систему Розумний Дім [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://bron.ua/article/schotake-rozumnij-budinok-vse-scho-potrbbno-znati-pro-sistemu-rozumnij-dm/5/>

15. Богдан Оробчук, Нестор Кіт. Дослідження режимів роботи моделі сонячної електростанції в пакеті MATLAB. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 грудня 2022) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]: ТНТУ, 2022. – С. 84-85.
16. Все, що необхідно для розробки якісних додатків. – Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://visualstudio.microsoft.com/en/free-developer-offers/> (дата звернення: 09.02.2023).
17. Ubiquiti Networks – Wi-Fi і мережеве обладнання. [Електронний ресурс] – Режим доступу:- URL: <https://www.ui.com/> (дата звернення: 22.02.2023).
18. B. Orobchuk, V. Koval. Development and research of Wi-Fi network for receiving and tramitting telemechanical information in the training laboratory // Scientific Journal of TNTU (Tern.) // Ternopil Ivan Puluoj National Technical University, Ternopil, Ukraine, 2020: <https://visnyk.tntu.edu.ua/pdf/99/570.pdf>
19. B. Orobchuk, I. Sysak, S. Babiuk, M. Karpinski, D. Jancarczyk. Development and implementation of a local area wireless network in the educational process on the basis of the dispatch control simulator // Przetwarzanie, transmisja i bezpieczeństwo informacji. ISBN 978-83-66249-55-4 // Wydawnictwo naukowe akademii techniczno - humanistycznej w Bielsku-Białej, 2020 https://www.engineerxxi.ath.eu/wp-content/uploads/2020/12/engineerxxi_2020_vol2_25.pdf8.
20. Автоматизована система диспетчерського керування «Стріла». Технічний опис і інструкція з експлуатації. – Тернопіль, 2016.
21. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи: Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» / КПІ ім. І. Сікорського; уклад.: А.О. Новацький. – Електронні текстові дані (1 файл: 18.983 Мб). – Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2018. – 247 с. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/43054/1/MP_ta_MKS_2_LabPrakt.pdf
22. Восьмиканальний модуль реле 12В для Arduino PIC ARM AVR. <https://agalasale.in.ua/ua/p1653771888-kanalnyj-modulrele.html>

23. Валетов В.А., Орлова А.А., Третьяков С.Д. Интеллектуальні технології виготовлення приладів і пристроїв. Навчальний посібник. – К.: Медіа-ПРЕС, 2008. -134 с.
24. Naghshvarianjahromi M, Kumar S, Deen MJ. Natural Intelligence as the Brain of Intelligent Systems. *Sensors*. 2023; 23(5):2859.
25. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. (схвалена розпорядженням КМУ від 15.03.2006. № 145-р.) [Текст]. — К., 2006. — 129 с.
26. Системи програмного та слідкуючого керування рухом: навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. І. Сікорського; уклад.: В.І.Теряєв. – Електронні текстові данні (1 файл: 5,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 134 с.
27. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – 533 с. – ISBN
28. Козирський В.В. Основи електропостачання: підруч. / Козирський В.В., Волошин С.М., – К.: Компрінт, 2021. – 497с. ISBN
29. Електрика своїми руками [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://elektryka.svoyimy.rukamy.ua/> (дата звернення: 10.05.2023).
30. Лесько В.О., Комар В.О., Кравчук С.В., Сікорська О.В. Електричні апарати: навч. посіб. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 102 с.
31. Лут М.Т. Охорона праці в галузі. Методичні вказівки щодо виконання розділу у дипломних проектах студентів зі спеціальності 7.091901 «Енергетика сільськогосподарського виробництва». К.:НАУ,2000.-136с.
32. Основи охорони праці: підручник для студентів вищих навчальних закладів // За ред. д.т.н., проф. М.П. Гандзюка - К.: Каравела, 2003. - 408 с
33. Правила улаштування електроустановок. – Харків: «Форт», 2009. 770 с.
34. Рекомендації щодо організації роботи кабінету промислової безпеки та охорони праці. Затверджені Головою Держгірпромнагляду 16.01.2008 р.
35. Закон України “Про захист людини від надзвичайних ситуацій техногенного та природного походження”, ВРУ, № 1809 – 111. – К., 2000.